

820/5 ✓ 23.85 128.6
КАДЕМИЯ НАУК СССР

В. П. БАКАКИН

ЛЕД
В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА
ДЛЯ ЗАКЛАДКИ
ВЫРАБОТАННОГО
ПРОСТРАНСТВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва — 1955

POLAR
PAM
4526

POLARPAM

Рам. 624. 147 / БАКАКИН.

**LIBRARY
BOREAL INSTITUTE**

ВАН 624.147

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИНСТИТУТ МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЯ ИМ. В. А. ОБРУЧЕВА
INSTITUT MERZKOTOVEDENIJA IM. V. A. OBRUSHEVA

В. П. БАКАКИН

V. P. BAKAKIN

ЛЕД

V KACHESTVE MATERIALA

В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА

DLIA ZAKLADKI

ДЛЯ ЗАКЛАДКИ

VYRABOTANNOGO

ВЫРАБОТАННОГО

PROSTRANSTVA

ПРОСТРАНСТВА

IZDATEL'STVO AKADEMII NAUK СССР
ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Москва—1955

ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
кандидат технических наук

В. Ф. ЖУКОВ

**LIBRARY
BOREAL INSTITUTE**

FEB 24 1962

«... люди, познав законы природы, учитывая их и опираясь на них, умело применяя и используя их, могут ограничить сферу их действия, дать разрушительным силам природы другое направление, обратить разрушительные силы природы на пользу общества».

И. Сталин. «Экономические проблемы социализма в СССР».

ВВЕДЕНИЕ

Современная техника горного дела позволяет разрабатывать месторождения полезных ископаемых подземным способом, оставляя незакрепленными или слабо закрепленными камеры и полости, достигающие иногда больших размеров. С течением времени в этих искусственно созданных камерах под действием горного давления происходят обрушения кровли, вызывающие сдвигание горных пород в отработанной части месторождения. При этом нередко нарушается крепление горных выработок на рабочих горизонтах, раздавливаются охранные целики и происходит обрушение кровли в действующих очистных забоях. Достигая поверхности, обрушение деформирует различные сооружения.

Крупные обрушения в выработанном пространстве обычно сопровождаются мощной воздушной волной, которая, достигая рабочих горизонтов, причиняет тяжелые аварии, а иногда — несчастные случаи. При эксплуатации месторождений самовозгорающихся углей и колчеданных руд зона обрушения и непогашенные очистные выработки обычно служат потенциальными очагами подземных пожаров.

Указанные явления осложняют эксплуатацию месторождений и в большинстве случаев не позволяют полностью их отработать. При этом часто теряется значительное количество разведанных и подготовленных запасов ценных руд и других полезных ископаемых.

Для предотвращения произвольных массовых обрушений современная практика использует два основных метода: 1) принудительную посадку кровли на отдельных

участках выработанного пространства и 2) закладку его пустыми породами или другими инертными материалами.

Мы не упоминаем здесь такой дорогой и трудоемкий метод как крепление, которое к тому же вследствие своей недолговечности не гарантирует полностью от всех указанных выше нежелательных явлений. Кроме того, для ряда систем разработок по условиям производства работ не представляется возможным использовать крепление для поддержания кровли в очистных выработках. Последнее соображение целиком можно отнести и к первому из названных методов — принудительной посадке кровли.

Более полноценной в смысле поддержания кровли выработанного пространства является закладка. При небольшом объеме работ она осуществляется в настоящее время ручным способом, а при более крупном — при помощи специальных приспособлений и машин или гидравлическим путем. При правильной организации работ гидрозакладка дает оптимальные показатели по сравнению со всеми другими способами закладочных работ, но все же при современном техническом оборудовании и она имеет ряд существенных недостатков.

В еще более значительной мере эти недостатки свойственны другим способам производства закладочных работ. Поэтому, прежде чем разобраться в условиях, при которых можно применять лед в качестве закладочного материала, рассмотрим вкратце положительные и отрицательные стороны закладки как метода поддержания кровли выработанного пространства. Значительный интерес представляют требования, предъявляемые к материалу закладки.

На месторождениях различной мощности и при различных углах падения системы разработок с закладкой выработанного пространства используются и как основные и как вспомогательные для отработки отдельных участков месторождений, сближенных жил и апофиз. По вопросу распространенности в горной промышленности систем с закладкой достаточно обобщенных сведений нет. Но отдельные данные подтверждают, что наибольший удельный вес они имеют на рудниках цветной металлургии. По данным Т. И. Голомолзиной [7] использование систем с закладкой доходит до 10% по отношению ко

всем другим системам очистной выемки, применяющимся на рудниках цветной металлургии. Следует заметить, что более 8% здесь занимают системы с закладкой без крепления.

Закладка как средство поддержания выработанного пространства получила известное распространение в золотой промышленности при отработке рудных месторождений. Частично она используется при добыче редких металлов, угля и некоторых других полезных ископаемых.

Эффективность систем очистной выемки с закладкой выработанного пространства в значительной мере определяется, помимо организации работ, характером залегания рудного тела, мощностью месторождения и другими местными условиями.

На жильных и пластовых месторождениях небольшой мощности при очистной выемке выделяется большой объем пустой породы, которая может быть использована в качестве закладочного материала. При недостатке породы материал для закладки добывается из небольших камер во вмещающем массиве или перепускается из верхних этажей.

На месторождениях средней и большой мощности материал для закладки приходится добывать на поверхности или использовать хвосты обогатительных фабрик, гранулированный шлак и другие инертные материалы. В этих случаях основное значение приобретает доставка материала для закладки с поверхности к месту работы, отнимающая обычно много рабочей силы и энергии.

Некоторые усовершенствования, внесенные за последнее время в способы доставки и распределения закладочного материала в выработанном пространстве, повысили общую эффективность систем с закладкой. Тем не менее стоимость закладочных работ все еще остается весьма высокой, что значительно удорожает общую стоимость добычи.

С горно-технической точки зрения закладка имеет большие преимущества как один из наиболее надежных и безопасных методов поддержания кровли выработанного пространства. К ним следует отнести сравнительную безопасность в пожарном отношении, имеющую большое значение для некоторых рудников угольной промышленности и цветной металлургии. На рудниках этой

категории первопричиной эндогенных пожаров является интенсивный процесс окисления угля и сульфидов, которому в значительной мере способствует наличие в отработанном пространстве древесины (крепление, маты). Поэтому использование инертного материала для закладки и поддержания соответствующего температурного и влажностного режима на таких рудниках является основой успешной эксплуатации.

Печальный опыт медных рудников Урала, не соблюдавших перечисленные выше основные требования, послужил в свое время толчком для использования антипирогенных добавок к материалу закладки.

При современных способах ведения закладочных работ встречаются известные затруднения. Это относится не только к экономике и противопожарным требованиям, но и к полноте отработки месторождения.

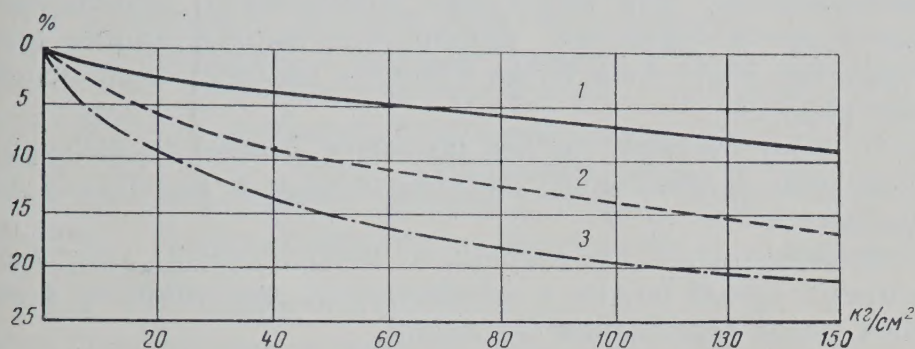
Неверным является общераспространенное среди специалистов горного дела мнение о минимальных потерях полезного ископаемого в недрах при извлечении системами с закладкой. Это суждение можно принять в отношении полноты отработки месторождения в целом; что же касается очистной выемки, то здесь потери достигают в отдельных случаях весьма крупной величины. Эти потери, по исследованиям проф. Р. П. Каплунова [7], оказывают большое влияние на эффективность, а следовательно, и на распространение системы очистных работ с закладкой. По полученным им данным потери достигают при крупноскелетном закладочном материале 8—13% и значительно снижаются только при работах с тщательно выполненным настилом. Однако, понижая потери рудной мелочи, это мероприятие требует больших затрат как на устройство настила, так и на дальнейшие перестилки. Часть древесины при этом несомненно уходит в закладку, что является весьма нежелательным в пожарном отношении.

Необходимо сказать еще несколько слов о степени уплотнения материала после закладки его в выработанном пространстве. Наименьшее уплотнение, как показали исследования [10], дают песок и гравий (до 3,5%). Под действием горного давления в большей степени (до 16%) уплотняются гранулированные шлаки, хвосты обогатительных фабрик и закладка из добытых горных пород. На

степень уплотнения материала, использованного для закладки, в значительной мере влияет и величина горного давления, что можно проследить по графику, представленному на фиг. 1.

Основные условия рационального использования закладки определяются следующими требованиями, предъявляемыми к материалу:

1) невысокой стоимостью добычи и транспортировки к месту закладки при достаточных его запасах вблизи рудника;



Фиг. 1. Зависимость степени уплотнения закладки от величины горного давления:

1 — песок и гравий, 2 — шлаки и хвосты, 3 — дробленые сланцы

2) инертностью в пожарном отношении, а в отдельных случаях специальными антипирогенными свойствами;

3) удовлетворительными механическими свойствами;

4) минимальной усадкой после закладки.

К этим основным требованиям часто добавляется ряд дополнительных, имеющих чисто местное значение, вследствие чего на них остановимся кратко в дальнейшем. Необходимо отметить, что использование для закладки материалов, не отвечающих перечисленным выше требованиям, всегда приводит к осложнениям и увеличивает стоимость добычи. Однако благоприятное сочетание изложенных выше условий встречается редко. Это и служит основным препятствием для широкого использования в горной практике систем горных работ с закладкой выработанного пространства, даже при тех условиях, когда применение их являлось бы наиболее желательным и целесообразным со всех других точек зрения.

Практически особенно трудно осуществить первое и основное требование — обеспечение невысокой стоимости добычи и транспортировки закладочного материала к месту закладки.

К вопросам экономики нам еще придется вернуться в конце работы, где мы рассмотрим их более детально; сейчас же проведем известные параллели между изложенными выше требованиями к материалу закладки и теми возможностями, которыми мы будем располагать, используя лед для поддержания кровли выработанного пространства. Для выяснения возможности использования льда в качестве заполнителя выработанного пространства достаточно будет ответить на следующие основные вопросы:

1. Соответствует ли лед по своим физико-техническим свойствам требованиям, предъявляемым к материалу закладки.

2. Возможно ли сохранить необходимый для льда температурный режим в отработанном пространстве в период после заполнения его льдом.

3. Имеется ли экономическая целесообразность в использовании льда для закладки выработанного пространства при положительном решении остальных вопросов.

Изученность физико-технических свойств льда и имеющийся опыт его использования для строительства поверхностных сооружений позволяют заранее дать положительные ответы на первый из поставленных вопросов. Что же касается вопроса о возможности сохранения и тем более создания соответствующего температурного режима в выработках рудника, то в этом направлении следует отметить почти полное отсутствие каких-либо исследований. Поэтому мы постараемся посылно осветить все затронутые положения, сосредоточив основное внимание на возможных принципах управления тепловыми процессами, происходящими в подземных выработках рудника, применительно к климату и другим природным условиям Севера.

Вопрос об использовании льда в качестве закладки не является новым. Еще в 1946—1947 гг. на конкурсе ВНИТО горняков была отмечена работа инж. А. И. Блиńskiego, предлагавшего использовать лед для заполнения

выработанного пространства. В 1950 г. на конкурсе Специального главного управления с такими же предложениями выступил инж. С. Е. Мартышев, а в 1952 г. — геолог В. А. Исаков.

В двух первых предложениях предлагалось для охлаждения и кристаллизации воды, залитой в отработанные блоки, использовать теплообмен с окружающим массивом. В. А. Исаков предложил заполнять выработанное пространство блоками льда, заготовленными на поверхности.

В предложениях инж. А. И. Блинского и инж. С. Е. Мартышева основной ошибкой было предположение о достаточной хладоемкости горных пород в массиве. Действительно, охлаждающая способность 1 м^3 породы с температурой -5° и объемной теплоемкостью 500 ккал/м^3 град составляет 2500 ккал . Теплосодержание 1 м^3 воды даже при температуре, близкой к 0° , но с учетом скрытой теплоты кристаллизации, определяется примерно в $80\,000 \text{ ккал}$.

Для того чтобы нагляднее представить себе эту разницу, подсчитаем количество тепла, которое придется отнять от воды при указанных условиях, для превращения ее в лед в одной из камер при высоте этажа в 30 м и ширине очистного пространства в 1 м . При данных размерах и при протяженности камеры по простиранию в 60 м следует залить в нее, даже с учетом коэффициента расширения, не менее 1600 м^3 воды. Для превращения указанного объема воды в лед при температуре 0° необходимо отнять от нее около 128 млн. ккал или, другими словами, реализовать всю охлаждающую способность массива объемом более $50\,000 \text{ м}^3$. Очевидно, что такой теплообмен невозможно осуществить в практически приемлемый период времени, т. е. нельзя превратить залитую в выработанное пространство воду в лед за счет одного холодосодержания массива.

Тем не менее сама идея льдозакладки отнюдь не опровергается этим выводом, так как, помимо массива в качестве охлаждающего фактора, в определенных природных условиях может быть использован более мощный поглотитель тепла, содержащегося в воде, — холодный зимний воздух.

Это не значит, что мы игнорируем значение теплового режима горных пород. Охлаждающая способность их

в отдельных случаях может быть весьма велика. Существенно и то, что процесс теплообмена между водой и горной породой происходит значительно интенсивнее, чем между водой и циркулирующим воздухом. Поэтому не следует пренебрегать и этим существенным фактором, который и учитывается нами в дальнейшем изложении. В приведенном выше примере мы лишь хотели указать на его недостаточность для осуществления поставленной задачи.

Что же касается возможности закладки выработанного пространства блоками льда, заготовленными на поверхности, как предлагает В. А. Исаков, то в ряде случаев осуществить это вполне возможно. Приемлемо также создание и сохранение тех условий, при которых льдозакладка будет нормально выполнять свои функции. С экономической же стороны последнее предложение заслуживает значительно меньшего внимания, чем предложение С. Е. Мартышева по послойному намораживанию. Заготовка блоков на поверхности, их транспортировка до места закладки и сами работы по закладке льда в выработанном пространстве весьма трудоемки и в комплексе будут, вероятно, близки по стоимости к ручной закладке.

Идея использования льда для закладки выработанного пространства в определенных условиях, при соответствующем производстве работ, нам кажется весьма прогрессивной, и ее можно будет осуществить в отдельных случаях с крупным экономическим и производственным эффектом.

1. ЛЕД КАК ЗАПОЛНИТЕЛЬ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

Рассмотрим физико-технические свойства льда и сравним их с общими требованиями, предъявляемыми к качеству закладочного материала. Особенный интерес представляют механические свойства льда различного генезиса.

Многочисленными исследованиями установлена зависимость прочности и механических свойств льда от температуры. Прочность льда при одноосном сжатии и при различной температуре изменяется в широких пределах — до 6—7 раз; в этих же пределах колеблется и величина сопротивления льда изгибу, растяжению и срезу. Хорошей иллюстрацией к изложенному являются данные исследований С. И. Гапеева [3] механических характеристик речного льда, приведенные в табл. 1 и дополненные для

Т а б л и ц а 1

Характеристика прочности льда, бутовой и кирпичной кладки на сжатие, кг/см²

Показатели	Лед	Бутовая кладка	Кирпичная кладка
Пределы прочности:			
минимум	10	50	80
максимум	70	80	120

сравнения данными о прочности некоторых видов каменной кладки, применяемой в горном деле.

По данным Н. А. Цытовича при одноосном сжатии в почти изотермических условиях временное сопротивление льда изменяется в зависимости от структуры в пределах от 17,5 до 127 кг/см². При этом временное сопротивление сжатию при направлении давления, параллельном оси кристаллов, значительно выше, чем при давлении в других направлениях. В. А. Исаков указывает, что лед, замороженный слоями, при давлении, перпендикулярном этим слоям, выдерживает давление в 60 кг/см².

Характеристика прочности ископаемых льдов до настоящего времени известна только по единичным исследованиям. Не останавливаясь подробно на результатах последних, приведем в табл. 2 наиболее важную характеристику

Т а б л и ц а 2

**Временное сопротивление сжатию льдов
различного генезиса**

Типы льда	Временное сопротивление сжатию, кг/см ²
Погребенный лед	32—40
Обычный речной лед	12—127
Наледный лед	50—122

стику механических свойств погребенного льда, а для сравнения — двух видов наземного льда: водного и наледного, полученных при температурах —1,5 и —3,7°.

Заметим, что при полученных характеристиках считается возможным использовать погребенный лед в качестве оснований фундаментов различных инженерных сооружений.

На основе изучения льда в конструкциях М. М. Крылов [5] рекомендует принимать допускаемое напряжение в 2—4 кг/см², причем он отмечает, что в продолжительной работе конструкций можно быть уверенным только при условии обеспечения в них определенных «запасов холода».

По данным Б. Г. Скрамтаева [12] прочность льда может быть увеличена в 3—4 раза путем использования деревянной арматуры. Такие же результаты получены и

для льдобетона. В обоих случаях повышение прочности материала связано с прочностью смерзания льда с деревом и горными породами, которая, по данным Н. А. Цытовича [13], изменяется в зависимости от температуры в следующих пределах (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Сила смерзания льда с деревом и бетоном

Материалы	Температура, °С	Сила смерзания, кг/см ²
Лед с деревом	— 1	5,0
То же	—20	22,0
Лед с бетоном	— 1	4,2—4,3
То же	—20	18,7—19,0

Еще прочнее смерзаются со льдом горные породы. В этом случае прочность смерзания при низких температурах очень часто превышает внутренние силы сцепления между отдельными составляющими породы.

Характеристика льда как материала не была бы полной без упоминания о его пластических свойствах, хотя при использовании льда в качестве закладочного материала они не имеют такого существенного значения, как в инженерных конструкциях. Величина пластических деформаций зависит не только от нагрузки и температуры как основных факторов, но и от длительности воздействия нагрузки. При температуре, близкой к 0°, в структуре льда наблюдаются большие изменения. Между отдельными кристаллами его появляется значительное количество воды, чем и объясняется понижение прочности. Это и понятно, поскольку прочность льда как агрегата определяется не только прочностью отдельных кристаллов, но и в еще большей степени силами сцепления их между собой. Даже небольшое количество незамерзшей воды между кристаллами заметно влияет на его механические свойства.

При оценке льда как материала закладки нет необходимости выяснять зависимость между температурой таяния льда под нагрузкой и его прочностью. В нашем случае следует только заметить, что лед с температурой

около 0° не может считаться полноценным материалом. При более низкой температуре (порядка -2° , -3° и ниже) его прочность близка к прочности осадочных и метаморфических горных пород средней крепости и на него вполне можно допускать нагрузку в $3-5$ кг/см². При расчетах на горное давление допускаемая нагрузка может быть значительно повышена с учетом того, что лед будет работать при всестороннем сжатии.

Из изложенного, помимо чисто расчетных характеристик, можно сделать еще один весьма существенный вывод, а именно: полное использование прочности льда возможно в условиях достаточно охлажденного выработанного пространства и при постоянно поддерживаемой в ней соответствующей отрицательной температуре.

Рассмотрим изменение объема льда в зависимости от изменения температуры. Известно, что коэффициент линейного расширения льда в пределах температуры от 0 до -20° определен примерно в $0,00055$. Принимая, что коэффициент объемного расширения равен утроенному линейному, надо ожидать, что температурная усадка льда будет ничтожна по сравнению с усадкой закладочных материалов, применяющихся в настоящее время ($5-40\%$).

Тем не менее, учитывая обычные в горной практике размеры отработанных камер и полостей, после их заполнения льдом можно ожидать появления в льдозакладке температурных трещин, разделяющих ее на отдельные блоки. С увеличением горного давления в силу пластических свойств льда эти трещины, вероятнее всего, сольются, и льдозакладка будет представлять собой единый заполняющий все выработанное пространство монолит, хорошо сцементированный силами смерзания с оставленным креплением и вмещающими горными породами. На последнее обстоятельство мы обращаем серьезное внимание, считая его весьма важным в горно-техническом отношении, выгодно отличающим лед от всех других материалов, применяющихся в настоящее время.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Прочность льда при его работе на сжатие в соответствующих температурных условиях выше, чем у заполнителей выработанного пространства, применяемых в настоящее время. По величине она близка к напряже-

ниям, допускаемым в строительной технике для оснований фундаментов. Даже при сравнении с наиболее распространенным видом крепления — деревом — преимущества в отношении прочности остаются за льдозакладкой.

2. Прочность льдозакладки значительно повысится на участках выработанного пространства, закрепленных временной крепью из дерева или камня, вследствие отличного смерзания с ними льда.

3. При правильно организованном намораживании льдозакладка будет работать в наиболее благоприятных условиях в отношении направления горного давления. При местных перенапряжениях вследствие пластичности льда можно наблюдать частичное перераспределение массы закладки в замкнутом объеме выработанного пространства с заполнением всех пустот, которые были случайно оставлены.

4. Использование льда в качестве закладочного материала позволит более тщательно заполнить выработанное пространство, чем при употреблении каких-либо других исполнителей, причем все деревянное крепление, оставленное в очистных выработках, будет хорошо предохраняться от гниения. Это свойство льдозакладки имеет не меньшее значение в отношении противопожарной безопасности, так как оно позволит надежно изолировать отработанные участки рудника от действия рудничного воздуха.

Таким образом, физико-технические свойства льда вполне удовлетворяют требованиям, предъявляемым к материалу закладки, а в некоторых отношениях и превосходят их при условии обеспечения в заложенных льдом выработках определенного температурного режима. На последнее обстоятельство следует обратить самое серьезное внимание, так как температурный режим является основой, от соблюдения которой зависит не только прочность льдозакладки, но и решение вопроса в целом о возможности ее использования в тех или иных природных условиях.

Обобщающих исследований по управлению теплообменом в подземных выработках проводилось немного, хотя температурный режим в руднике имеет большое значение не только в рассматриваемом вопросе, но и в ряде

других случаев. В частности, изменение температурного режима горных пород в руднике достигает иногда с течением времени такой степени, что приводит при подтоке рудничных вод к оледенению выработок, к смерзанию стбитой руды в камерах и к другим нежелательным явлениям.

При наличии мерзлых горных пород постепенное оттаивание их, как правило, сопровождается увеличением горного давления, наблюдаются сдвигения отдельных монолитов, обрушиваются потолочины, учащаются вывалы и местные обрушения кровли в очистных забоях; при этом часто увеличивается приток рудничных вод на нижних горизонтах. Обводнению в данном случае способствует образование талых зон около стволов вертикальных и наклонных выработок, сообщающихся с поверхностью. По таким зонам с поверхности проникают надмерзлотные воды, способствующие процессам оттаивания и отслоения, особенно на наиболее опасных участках, где нарушена естественная структура горных пород.

Из-за неумения управлять температурным режимом в руднике в практике горного дела встречаются серьезные осложнения при отработке глубоких горизонтов, при организации подземной газификации на месторождениях каменных углей, при эксплуатации глубоких мерзлых россыпей и в ряде других случаев.

Эти осложнения оказывают значительное влияние на производительность труда и экономику горных работ.

При умении же распознавать направление отдельных тепловых процессов, происходящих в горных выработках и массиве, конечно, можно было бы не только своевременно ликвидировать эти нежелательные явления, но и использовать тепловые процессы с пользой в производственных целях. Следует заметить, что осуществить такое управление тепловыми факторами в рудничных условиях значительно проще, чем на поверхности. Тем не менее на методы управления тепловыми процессами до настоящего времени обращено недостаточное внимание. Мало освещены они и в специальной литературе.

II. НАПРАВЛЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГОРНЫХ ПОРОД В РУДНИКЕ

В естественных условиях, т. е. до вскрытия массива выработками, температурный режим горных пород с глубины нулевых годовых амплитуд определяется интенсивностью теплообмена с земной поверхностью. Этот процесс происходит под влиянием притока тепла из недр земли, частично за счет химических, радиоактивных и других реакций, а в некоторых случаях за счет подземных вод.

При вскрытии месторождения и особенно при развитии очистных работ установившийся температурный режим в массиве под влиянием тепловых процессов, возникающих в горных выработках, начинает постепенно изменяться. Наиболее важное значение имеют теплообмен с рудничным воздухом и процесс испарения влаги, которые в основном и изменяют количество тепла, содержащегося в массиве. В результате этого изменяются температура и влажностный режим горных пород и воздуха.

Вопросы направленного изменения отдельных составляющих теплообмена, происходящего на дневной поверхности и в подстилающей ее толще покровных отложений, достаточно освещены в литературе и в настоящей работе не рассматриваются.

При постановке вопроса о направленном изменении температурного режима в горных выработках мы должны проанализировать каждый из тех основных процессов, которые определяют его в подземных условиях.

Рассмотрим формирование температурного режима в массиве горных пород, залегающих на более или менее

значительной глубине и связанных с поверхностью системой вертикальных и горизонтальных горных выработок. Анализ начнем с общих условий теплообмена, происходящих на активной поверхности.

Активной поверхностью в рудничных условиях является, как и при открытых разработках, обнаженная выработками общая поверхность горных пород. На этой поверхности происходит сложный теплообмен между рудничным воздухом, влагой и массивом горных пород, вмещающих месторождения. Из составляющих его первое место по интенсивности занимает конвективный теплообмен между активной поверхностью и перемещающимся с большой скоростью рудничным воздухом.

Вынужденному движению воздуха над неровной поверхностью свойственно вихреобразование или турбулентность, причем перенос тепла (так же как и влаги) протекает в основном за счет кинетической энергии перемещающихся молекул воздуха. С увеличением скорости перемещения воздуха его турбулентное перемешивание возрастает, а с ним возрастает и интенсивность процессов теплообмена и испарения. Помимо динамического фактора, на турбулентность приземного слоя воздуха влияют изменения в температуре поверхности. В подземных условиях роль последнего фактора невелика вследствие невысокой температуры обнаженной поверхности горных пород и незначительности ее изменения во времени.

Теория турбулентности обмена в подземных условиях, так же как и методика определения его основных характеристик, находится в настоящее время в стадии разработки. Поэтому воспользуемся общими закономерностями, установленными в условиях дневной поверхности. Для оценки величины конвективного теплообмена за основу можно принять закономерность, предложенную Ньютоном и Рихманом:

$$Q_{\text{кон}} = \alpha (t_{\text{п}} - t_{\text{в}}) F \tau \text{ ккал}, \quad (1)$$

где, применительно к разбираемому случаю:

$Q_{\text{кон}}$ — количество тепла, переданного воздуху через активную поверхность или полученного от него, ккал;

α — коэффициент конвективной теплоотдачи (обычно находится опытным путем), ккал/м² час град;

t_n — температура поверхности горных пород в выработанном пространстве, °С;

t_v — температура воздуха, омывающего выработанное пространство, °С;

F — площадь выработанного пространства, которую омывает воздух, м²;

τ — период времени, час.

Рассматривая сущность изложенной закономерности (1), легко убедиться, что в нашем случае мы можем произвольно изменять в ней только величины α и τ . Иначе говоря, управлять в подземных условиях первым из наиболее важных составляющих сложного теплообмена — конвективным теплообменом можно путем изменения режима проветривания. Большое значение при этом будет иметь изменение скорости воздушного потока, поскольку последняя в значительной мере определяет величину α .

Значительное влияние на этот процесс можно было бы оказать, изменяя t_v — температуру рудничного воздуха; в нашем случае останавливаться на этой возможности нет смысла, так как для достижения поставленной цели предполагается использовать зимний воздух с его естественной температурой.

Заметим, что только вследствие незначительной теплоемкости воздуха процесс охлаждения определяется в нашем случае в основном скоростью и временем, причем теплообмен в начальный период происходит с достаточно высокой интенсивностью. При передвижении по выработкам холодного воздуха температура его быстро возрастает. Поэтому, во избежание излишних затрат, пути подачи холодного воздуха с поверхности к закладываемому льдом участку должны быть возможно короткими.

В последующей стадии, когда выработки и вентиляционные трубы по пути перемещения воздуха охлаждаются и когда разность между его температурой (t_v) и температурой стенок выработок (t_n) заметно уменьшится, интенсивность конвективного теплообмена тоже уменьшится. Непосредственными наблюдениями за изменением температуры рудничного воздуха, поступающего с поверх-

ности, установлено, что в обычных условиях процесс теплообмена заканчивается на 1000—1500 м [2].

Перейдем к рассмотрению процесса испарения, сопровождающего конвективный теплообмен. Рудничный воздух, помимо влаги, приносимой с поверхности, почти всегда получает дополнительное количество паров воды за счет испарения в руднике; при этом скорость испарения изменяется в зависимости от температуры испаряющей поверхности и от скорости перемещения воздуха в выработанном пространстве. При их увеличении активизируется турбулентное перемещение воздуха, а с ним и процесс испарения. При охлаждении активной поверхности процесс может изменить свое направление, т. е. начнется конденсация.

Оба эти процесса до известной степени влияют на ход теплообмена, происходящего между поверхностью стенок выработки и рудничным воздухом, поскольку они поглощают или выделяют определенное количество тепла. Для учета последнего, по нашему мнению, можно воспользоваться зависимостью, логически вытекающей из общеизвестной формулы Дальтона:

$$Q_{\text{исп. конд}} = \alpha Q_0 \left(\frac{E - e}{H} \right) F \tau \text{ ккал}, \quad (2)$$

где

$Q_{\text{исп. конд}}$ — количество тепла, затрачивающееся на испарение или выделяющееся при конденсации влаги за время τ , ккал;

α — коэффициент конвективного теплообмена, ккал/м² час град;

Q_0 — скрытая теплота парообразования или конденсации, ккал;

$(E - e)$ — недостаток насыщения или разность между упругостью паров воды в воздухе при данной температуре в руднике и на поверхности, мм;

H — атмосферное давление на данном горизонте рудника, мм;

F — испаряющая поверхность, м.²

Зависимость (2) при детальном ее анализе мало чем отличается от вышеприведенной формулы Ньютона—Рихмана, поскольку дефицит влажности полностью опреде-

ляется (при более или менее постоянной скорости теплоносителя) температурой поверхности и омывающего ее воздуха. Поэтому методы регулирования влажностного режима в рудничных условиях должны до некоторой степени совпадать с методами регулирования процессов конвективного теплообмена поверхности с воздухом.

Некоторое дополнительное влияние могло бы оказать и уменьшение величины испаряющей поверхности за счет тщательного сбора рудничных вод. Конечно, возможности в этом направлении здесь более ограничены, чем на поверхности. Все же путем тщательного водосбора на отдельных участках, тампонажа выходов подземных вод и рядом других мероприятий, учитывающих местные особенности и поставленную задачу, можно в значительной мере влиять на количество испаряющейся в руднике воды и тем самым регулировать, с одной стороны, влажность воздуха, а с другой — тепловой его режим.

В более значительной степени можно было бы влиять на процесс теплообмена, а следовательно, и на температурный режим выработок, искусственно изменяя в руднике дефицит влажности. Для этого теоретически необходимо только осушить поступающий с поверхности воздух. При практическом же осуществлении данная операция трудно выполнима вследствие большого количества воздуха, поступающего с поверхности в рудник при проветривании. По этим же мотивам не может быть использовано осушение воздуха при намерении охлаждать им отдельные участки рудника.

Рассмотрим кратко еще один из процессов — тепловое излучение. Эффективность последнего как теплового фактора, участвующего в сложном теплообмене, определяется в общем виде простой зависимостью между количеством тепла $Q_{\text{луч}}$, излучающегося в единицу времени, поверхностью F , коэффициентом черноты A , разностью абсолютных температур стенок выработок $T_{\text{п}}$ и циркулирующего в них воздуха $T_{\text{в}}$:

$$Q_{\text{луч}} = FA \cdot 4,5 \cdot 10^{-8} (T_{\text{п}}^4 - T_{\text{в}}^4) \text{ ккал.} \quad (3)$$

Поскольку излучение происходит в замкнутом пространстве, мы исключили в приведенной формуле коэффи-

циент облучения, учитывающий долю общего потока лучистой энергии, падающего на облучаемое тело. Эффективное излучение в горных выработках, как и остальные тепловые процессы, может изменять направление за исключением теплотока из недр q , поэтому мы вправе написать уравнение теплового баланса в следующем виде ¹:

$$Q_{\text{общ}} = q \pm (Q_{\text{кон}} + Q_{\text{исп. конд}} + Q_{\text{луч}}). \quad (4)$$

Лучистый теплообмен в подземных условиях не имеет существенного значения в общем теплообмене, так как после известного промежутка времени температура поверхностного слоя пород в выработках до некоторой степени уравнивается с температурой циркулирующего в них воздуха.

Учитывая это, мы можем исключить его из дальнейшего анализа. Количество испаряющейся влаги в выработках, пройденных по мерзлым породам, весьма ограничено. Поэтому, как видно из уравнения баланса, наиболее эффективно в руднике можно управлять конвективным теплообменом. Этот теплообмен, особенно при искусственной вентиляции, является основным элементом теплового баланса, т. е. определяет величину и направление теплового потока с поверхности выработок, а с ним и температурный режим горных пород в руднике.

Изменяя количество подаваемого с поверхности в рудник воздуха в отдельные периоды года, можно в известной степени изменить интенсивность, а в отдельных случаях и направление происходящего в его выработках теплообмена. Возможности эти значительно повышаются при условии не только количественного, но и качественного изменения вентиляционной системы, т. е. при использовании искусственного подогрева или охлаждения воздуха, подаваемого в рудник при его осушении, при изменении скорости вентиляционной струи на отдельных участках и при использовании ряда других, сравнительно несложных приемов. Эти приемы уже частично используются для борьбы с оледенением шахтных стволов и горизонтальных

¹ Без учета тепла, выделяющегося от окисления руды, угля, древесины и при других процессах,

выработок, для размораживания отбитой руды и в некоторых других случаях, имеющих место в горной практике.

В качестве единичных примеров можно указать на ряд рудников, применяющих сейчас для регулирования температурного режима установки, подающие кондиционированный воздух в глубокие горизонты. Однако эти единичные примеры из практики, указывающие на возможности регулировать температурный режим в руднике, далеко не выражают общей идеи о его направленном изменении. Правильность ее до известной степени подтверждается рядом аналогий из природы и горной практики, из которых вначале остановимся на явлении оледенения отдельных рудников в области распространения мерзлых горных пород, а также и вне ее пределов.

Подчеркивая последнее, мы намерены показать, что оледенение рудников связано не только с температурным режимом массива в естественном его состоянии, а несомненно вызывается своеобразными условиями внешнего теплообмена пройденных в нем горных выработок. Дадим более подробный анализ этому явлению, начав с того, что вспомним схему естественной вентиляции выработок, которые сообщаются с дневной поверхностью в двух точках, имеющих различные высотные отметки.

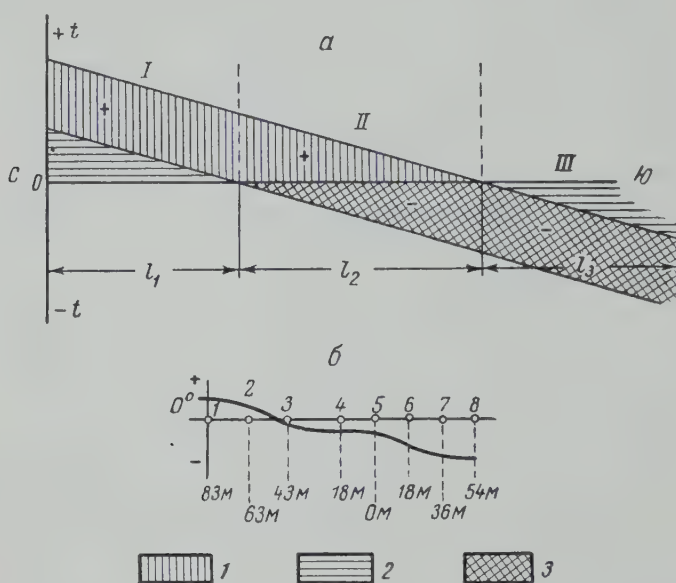
В соответствии с отметками разница в давлениях вызывает в выработках движение воздуха, которое в летний и зимний периоды меняет свое направление. При достаточной протяженности выработки в ней образуются в связи с циркуляцией воздуха следующие температурные зоны:

- 1) зона с круглогодичными положительными температурами,
- 2) зона со знакопеременной летом и зимой температурой,
- 3) зона, в которой в течение всего года наблюдается иногда хотя и колеблющаяся, но все же отрицательная температура воздуха (фиг. 2).

Естественно, что протяженность каждой из перечисленных зон зависит, в первую очередь, от внешних климатических условий, ряда физических факторов и, в частности, от теплофизических свойств горных пород, в кото-

рых пройдена выработка, а также от общей длины последней.

Подобная закономерность довольно часто наблюдается в практике (фиг. 2, б). В качестве характерного примера можно указать на своеобразное изменение температурного режима в одном из апатитовых рудников, расположенном на северо-западе Советского Союза вне области распространения мерзлых горных пород.



Фиг. 2. Температурные зоны в горных выработках при естественной вентиляции:

I, II, III — температурные зоны, l_1, l_2, l_3 — протяженность зон; 1 — породы с положительной температурой, 2 — породы со знакопеременной температурой, 3 — породы с отрицательной температурой

По характеру годовых изменений в температурном режиме рудничного воздуха и поверхностного слоя пород здесь достаточно отчетливо выделяются три группы горных выработок. К первой группе относятся выработки, в которых породы с поверхности и в глубине массива сохраняли положительную температуру в течение всего года. Колебания температуры на поверхности пород в выработке ограничивались обычно 0 и 4° и лишь на короткий период зимой она опускалась в отдельных пунктах несколько ниже 0° . Следует заметить, что выработок с таким температурным режимом имелось на руднике незна-

чительное количество и обычно они находились на слабо вентилируемых участках. Значительно больше их относилось ко второй группе, где породы и с поверхности и на довольно значительную глубину периодически изменяли температуру с переходом через 0° на вполне ощутимую величину и время. Амплитуда колебаний температуры поверхности доходила здесь до 8 и даже до 10° .

В наиболее интересной для нас третьей группе колебания температуры поверхности пород в выработках происходили в течение года в пределах отрицательных ее значений; если и наблюдалось кратковременное появление невысоких положительных температур, то только на поверхности пород и в слое до глубины $0,5$ м. Как правило, температура поверхностного слоя в выработках этой группы имела в течение всего летнего периода отрицательное значение. На отдельных участках в зимний период она опускалась ниже -3° . Участки эти чаще всего находились поблизости от места поступления охлажденного воздуха. По мере удаления от вентиляционной струи амплитуда колебаний температуры поверхности уменьшалась. Об этом можно говорить как о некоторой постоянной закономерности, свойственной всем трем температурным зонам рудника.

Понятно, что та же закономерность прослеживалась и для всей зоны зимнего охлаждения массива. Вблизи от вентиляционной струи последняя достигала $12-15$ м, по мере удаления от нее мощность охлажденного слоя обычно уменьшалась до $3-6$ м.

В табл. 4 для наглядности приводятся температурный режим и его изменения в охлажденной зоне на основе наблюдений по нескольким буровым скважинам, расположенным в каждой из указанных выше категорий выработок. Эти данные являются для каждой из них наиболее характерными; для сравнений в таблице помещены дополнительные сведения о температуре стенок (деятельной поверхности) и рудничного воздуха, полученные в период наблюдений в скважинах.

Данные табл. 4 характеризуют своеобразный температурный режим пород в поверхностном слое на отдельных участках рудника. Объяснение этому своеобразию следует искать в периодических изменениях условий теплообмена поверхности, вызванных изменениями в ре-

Ход температуры в горных выработках

Дата	Температура, °С		Измерения температуры в скважине на глубине от поверхности, м				
	воздуха	выработок	0,6	1,3	1,7	2,3	2,7

I группа

30/VII	2,8	2,1	2,5	1,2	1,0	0,7	0,6
6/VIII	2,9	2,9	2,7	1,4	0,8	0,7	0,6

II группа

22/V	—1,4	—1,3	—1,8	—2,0	—2,1	—	—
2/VI	—0,6	—0,7	—1,4	—1,7	—1,7	—	—
18/VI	0,0	—0,1	—0,6	—0,7	—1,2	—	—
30/VI	0,3	0,1	0,0	—0,5	—0,8	—	—
12/VI	2,5	—2,2	0,1	—0,1	—0,4	—	—
23/VII	2,8	2,5	1,8	0,7	0,2	—	—
13/VIII	4,0	3,8	2,5	1,3	0,7	—	—

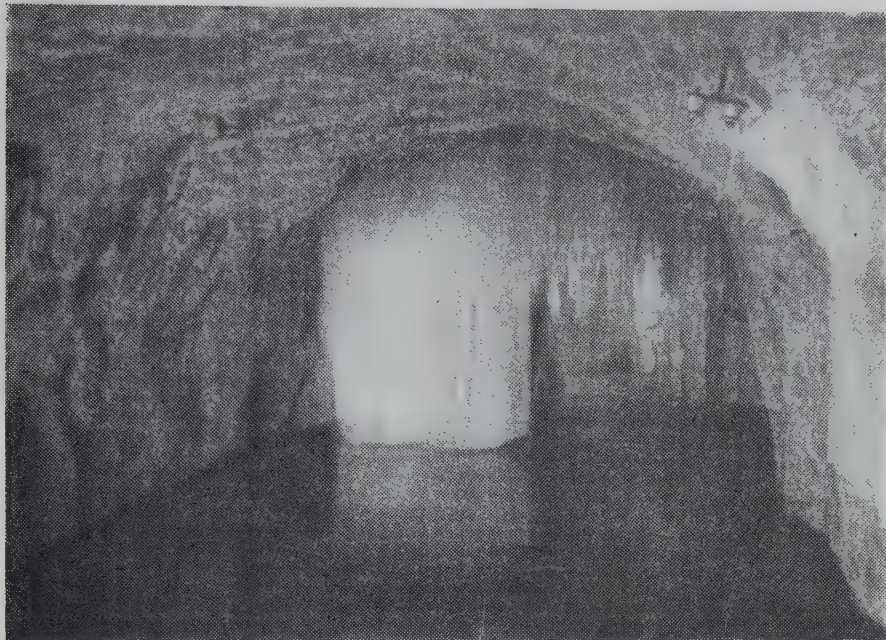
III группа

10/V	—2,5	—2,2	—1,8	—1,8	—1,7	—1,5	—
28/V	—1,2	—1,4	—1,4	—1,4	—1,5	—1,4	—
22/VI	0,0	—0,3	—0,6	—1,0	—1,1	—1,0	—
12/VII	0,1	—0,1	—0,4	—0,3	—0,8	—0,5	—
13/VIII	0,2	0,1	—0,2	—0,3	—0,4	—0,5	—

жиме рудничной вентиляции. В отдельных случаях, когда в выработках рудника наблюдалось лишь периодическое охлаждение, оно исчезает в течение лета за счет тепла, принесенного с поверхности вентиляционной струей. На отдельных же участках этого тепла не хватало; в последующий зимний сезон процесс охлаждения усилился, вследствие чего зона охлаждения распространилась в глубину массива.

Хорошим индикатором для распознавания температурного режима выработок рудника являлись рудничные воды, которые, замерзая, образовывали на отдельных участках наледи. С образования последних начиналось

оледенение выработок, причем процесс и в последующей стадии носил в основном наледный характер, т. е. вода замерзала послойно. Правда, оледенение захватывало иногда стенки и кровлю выработок, особенно на участках, где по трещинам нарушений просачивалась вода. В таких местах выработки перекрывались ледяными завесами, образовывались ледяные сталактиты и сталагмиты.



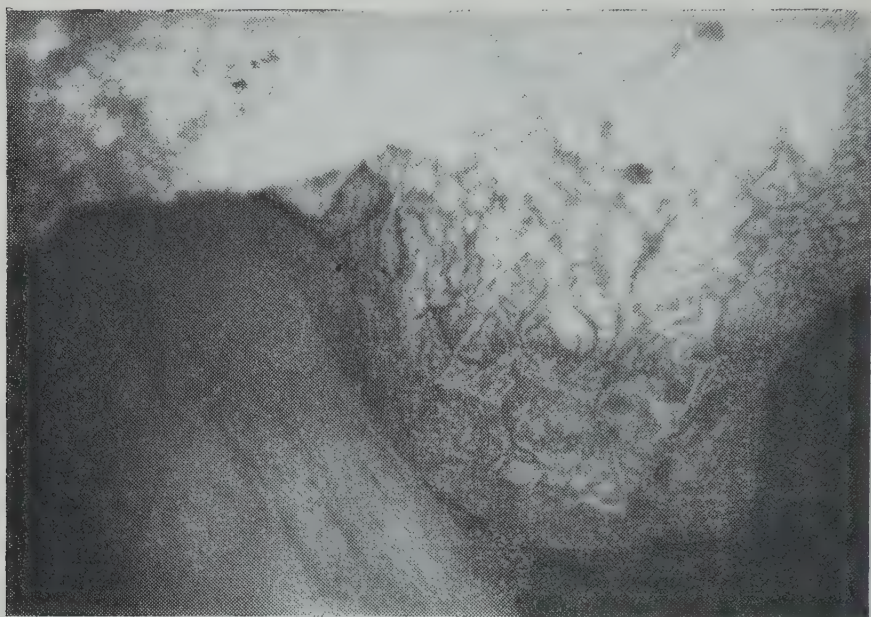
Фиг. 3. Оледенение штрека
(фото А. И. Дементьева)

При усиленной вентиляции и поступлении достаточного количества воды процесс оледенения выработок происходит весьма интенсивно. Так, например, на одном из рудников откаточный штрек в течение одного месяца покрылся льдом на высоту в 1,2 м от подошвы (фиг. 3). Поступление воды в штрек здесь приурочивалось к рудоспускам. В дальнейшем процесс оледенения распространился на последние, а по ним в камеры с замагазинированной рудой (фиг. 4).

Подобные случаи не единичны. Постепенное охлаждение и связанное с ним оледенение выработок с течением времени прогрессируют и принимают в конце концов

катастрофические размеры. На отдельных рудниках в охлажденную зону включается до 60—70% всех капитальных горных выработок (фиг. 5).

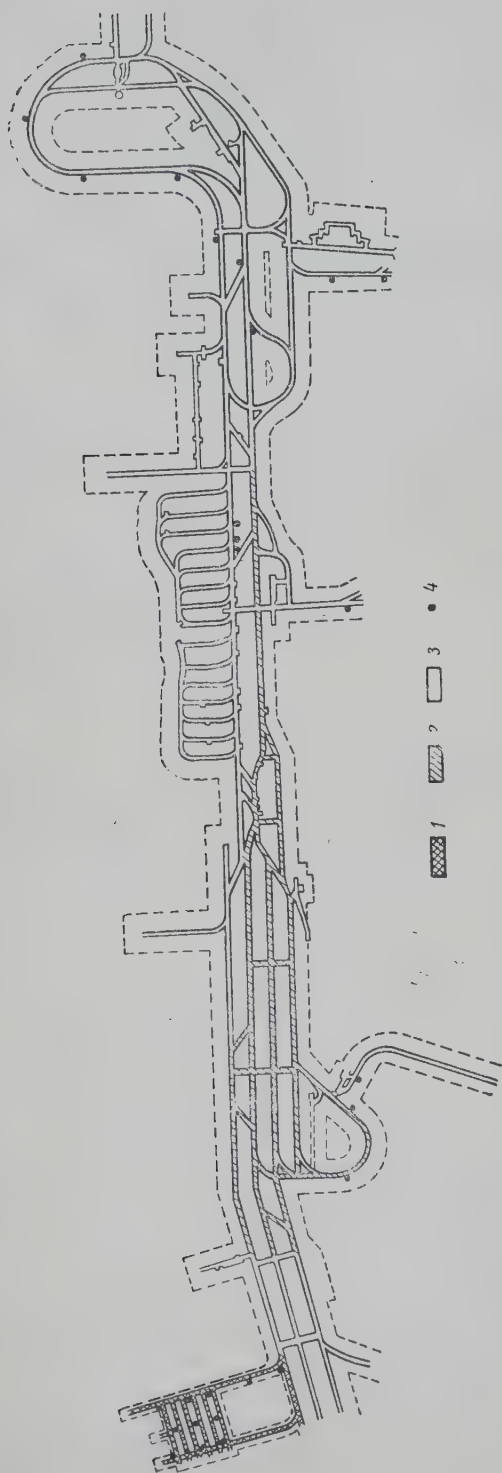
Особенно сильно сказываются результаты этой своеобразной хладозарядки в выработках, проветривающихся в основном за счет естественной вентиляции. Получая за зимний период большое количество холода, они и летом



Фиг. 4. Оледенение восстающего
(фото А. И. Дементьева).

омываются достаточно охлажденным воздухом. Охлаждение воздуха бывает настолько велико, что даже при перемешивании с теплыми вентиляционными струями он все же сохранял на отдельных участках температуру, близкую к 0°. При такой температуре воздуха невозможно обогреть за летний период всю охлажденную зону. Начинаются изменения в температурном режиме массива горных пород — температура падает, происходит накопление значительных «запасов естественного холода», принесенного с поверхности вентиляционными струями воздуха в зимний период.

Со временем процесс аккумуляции прогрессирует, зона охлаждения расширяется и захватывает не только



Фиг. 5. Схема распределения температурных зон на одном из горизонтов рудника:

1 — с положительной температурой, 2 — со знакопеременной летом и зимой температурой, 3 — с отрицательной температурой, 4 — пункты наблюдений за температурой пород

отдельные выработки и блоки, но и отдельные горизонты рудника. Постепенное охлаждение массива сопровождается на отдельных участках оледенением части пройденных в нем горных выработок. Такого наиболее простого и правдоподобного объяснения наблюдающегося иногда в горной практике явления оледенения рудников.

При анализе причин и общей физической картины охлаждения и оледенения рудников невольно напрашиваются некоторые аналогии с азональной «мерзлотой», которая наблюдается в пещерах и пустотах, в карстовых известняках. Явление это, в природе довольно редкое, встречается, однако, в самых разнообразных областях, имеющих в силу физико-географических особенностей резкие смены температуры воздуха зимой и летом. Льды и мерзлые породы наблюдаются, например, в Нижнеудинской и Кунгурской пещерах, на Кавказе и даже в Крыму — на Чатыр-Даге. Имеются сведения о наличии азональной «мерзлоты» в Казахстане, Финляндии и других районах, не входящих в область распространения мерзлых горных пород. Породы эти появляются в отмеченных районах исключительно вследствие влияния наземного охлажденного воздуха, вытесняющего зимой из пустот более теплый, а поэтому и более легкий воздух. В летний период вследствие почти полного отсутствия конвективного теплообмена охлажденный воздух на долгий период остается в полостях и пещерах.

Таким образом, оба эти явления, т. е. оледенение рудников и азональная «мерзлота», происходят в результате зимней хладозарядки. В первом случае ее вызывают непроизвольно, не умея правильно установить режим вентиляции, во втором — оно естественное явление внешнего теплообмена, протекающего в своеобразных природных условиях. Но первопричина и там и здесь одна — зимняя хладозарядка, вызываемая своеобразным ходом теплообмена поверхности выработки или полости с воздухом.

Поскольку изменение температурного режима зависит в этих случаях от смены годовых циклов на поверхности, то для управления теплообменом используют принципы и методы, разработанные для поверхностных условий. Нетрудно спроектировать и практически осуществить

с горно-технической точки зрения условия, способствующие усилению процесса охлаждения массива на отдельных участках рудника. Для этого необходимо сосредоточить в зимний период усиленную приточную вентиляцию в отдельную систему выработок или камер. После известного периода поверхность выработок и прилегающие к ней слои горных пород будут иметь до глубины x отрицательную температуру, т. е. передадут известное количество тепла потоку рудничного воздуха, который повысит свою температуру.

При рассмотрении теплообмена, происходящего в горных выработках, неизбежно возникают вопросы, связанные с определением отдельных характеристик этого весьма сложного процесса. При анализе потребуется определить глубину распространения охлажденной зоны или время, которое необходимо затратить на создание ее определенной мощности. В дальнейшем следует определить общий коэффициент теплообмена поверхности выработок с воздушной струей и ряд других теплофизических величин и характеристик.

Подход к их определению может быть двоякий. Для точных аналитических исследований надо установить (учитывая по возможности все факторы, влияющие на процесс теплообмена) с достаточной степенью точности их изменения во времени и пространстве, а после этого, пользуясь взаимной связью, определить из нее требующиеся характеристики. При инженерных расчетах следует допустить, что теплообмен через определенный период времени принял стационарное состояние, и попытаться определить упрощенными методами те же искомые величины с меньшей точностью, однако удовлетворяющей поставленным практическим целям.

Вследствие недостаточной изученности ряда тепловых процессов, участвующих в теплообмене, придется использовать оба указанные метода при решении поставленных задач аналитическим путем. Начнем с основного — с температуры стенок горной выработки и попытаемся определить ее изменение во времени.

Теория теплопередачи в этом случае дает возможность определить только температуру поверхности плоской стенки однородного полуограниченного массива, если она подвергается воздействию окружающей среды,

температура которой неизменна. Для решения более сложной задачи, когда температура теплоносителя изменяется со временем, существуют лишь отдельные частные решения, причем для их использования необходимо, чтобы функциональная зависимость изменений температуры теплоносителя во времени была известна.

Помимо периодических колебаний на поверхности температура воздуха, поступающего в рудник, претерпевает еще ряд дополнительных изменений в процессе движения по выработкам, причем общая закономерность этих изменений не установлена. Следовательно, использовать упомянутые выше частные решения для нас невозможно и поэтому приходится повторить испытанный ранее прием и выделить главнейшие факторы, определяющие температуру активной поверхности. Основными из них для подземных условий рудника являются:

- 1) первичная температура горных пород,
- 2) температура поступающего с поверхности воздуха,
- 3) изменения, которые произойдут в температурном режиме воздуха после прохождения им системы выработок,
- 4) количество проходящего по выработке воздуха и его теплоемкость,
- 5) величина конвективного градиента,
- 6) общий коэффициент конвективной теплопередачи.

Первым из перечисленных факторов является температура горных пород на определенной глубине в тот или иной период времени. До вскрытия она определялась в данной точке массива геотермическим градиентом R , который является приращением температуры с глубиной,

т. е. величиной $\frac{dt}{dH}$. Этот показатель изменяется в различных участках земной коры с глубиной неодинаково и закономерность его изменений до настоящего времени точно не установлена. После вскрытия температура пород постепенно изменяется вследствие теплообмена с циркулирующим воздухом, а также в зависимости от других процессов, участвующих в сложном теплообмене. Ее изменения будут определяться по закономерности, исходя из приведенного выше общего положения Ньютона, по которому скорость охлаждения средой с постоянной

температурой пропорциональна первичной температуре тела, т. е.

$$t = t_0 e^{-\alpha \tau}. \quad (4)$$

Итак, даже при принятом положении о постоянстве температуры охлаждающего воздуха необходимо при определении температуры активной поверхности выработать в данный момент знать их первичную температуру. Известно, что температура поступающего с поверхности воздуха непостоянна. По общепринятой схеме ее колебания обычно представляются в виде гармоники, осью ординат которой является средняя температура воздуха за весь период охлаждения. Считается, что эти колебания происходят по косинусоиде, что, в свою очередь, позволяет представить закономерность изменений температуры наружного воздуха в виде:

$$t_{\text{в}} = t_0 + W \cos \frac{2\pi \tau}{z}, \quad (5)$$

где

$t_{\text{в}}$ — температура наружного воздуха;

t_0 — средняя за период охлаждения температура воздуха;

W — максимальное отклонение температуры воздуха за этот период;

τ — время от начала волны, когда температура воздуха была $t = t_0 + W$,

z — период охлаждения.

Уравнение (5) дает возможность определить температуру наружного воздуха в любой момент времени от начала периода охлаждения, если известна его средняя температура. Однако использовать указанную формулу в наших расчетах, имеющих чисто прикладное значение, нам кажется не рационально. Колебания температуры воздуха за один и тот же период времени ежегодно не совпадают, поэтому невозможно подобрать точно основной показатель — среднюю температуру воздуха за период охлаждения. К этому следует добавить, что принятое положение об изменении температуры по косинусоиде не соответствует действительности, поскольку колебания температуры наружного воздуха определяются более сложными закономерностями.

При определении конечной температуры воздуха, охлаждающего выработанное пространство, необходимо учитывать те изменения, которые произойдут в процессе его движения по системе горных выработок. Если внимательно проанализировать их, то следует учесть не только изменения от теплообмена со стенками выработок, но, очевидно, и те, которые произойдут вследствие адиабатического сжатия воздуха. В рудничной вентиляции изменение температуры в первом случае, т. е. происходящее в результате теплообмена, обычно определяется по недостаточно изученной закономерности температурного градиента R .

При этом приращение температуры воздуха вследствие адиабатического сжатия и связанных с ним процессов испарения и конденсации влаги учитывается общим градиентом r , численно равным изменению температуры на 1 м глубины [2].

С учетом этих положений и приведенного выше закона Ньютона формула для определения конечной температуры воздуха, охлаждающего выработанное пространство, приобретает следующий вид:

$$t_{\text{в}} = t_{\text{п}} - \frac{R - r}{B} (1 - e^{-BH}) - (t_{\text{п}}^{\circ} - t_{\text{в}}^{\circ}) e^{-BH}, \quad (6)$$

где

$t_{\text{в}}$ — конечная температура воздуха;

$t_{\text{в}}^{\circ}$ — температура поступающего в рудник воздуха;

$t_{\text{п}}$ — температура пород в выработке;

$t_{\text{п}}^{\circ}$ — первичная температура пород;

R — температурный градиент;

H — глубина заложения выработки;

r — конвективный градиент;

B — общий коэффициент, учитывающий теплоемкость воздуха, коэффициент теплообмена и другие исходные данные.

Следует заметить, что для практических расчетов конвективный градиент часто приравнивается 0,01, или, другими словами, приращение температуры на каждый метр вертикального пути воздуха в руднике принимается равным 0,01° вне зависимости от глубины.

Используя все приведенные закономерности, А. Ф. Воропаев [2] сделал попытку подойти к решению основной задачи, к аналитическому определению температуры пород в любом слое на расстоянии x от активной поверхности в любой момент времени τ после искусственного охлаждения стенок выработки. В рассматриваемом случае на передачу тепла вглубь массива путем теплопроводности потребуется определенное время. Очевидно и то, что если колебания температуры хладагента — воздуха определяются зависимостью $t_{\text{в}} = t_0 + W \cos \frac{2\pi\tau}{z}$, то температура ограниченного плоской стеной однородного массива будет претерпевать на глубине x те же периодические колебания, но с меньшей амплитудой, т. е. мы можем в таком случае записать:

$$t_{(x\tau)} = t_0 + W_{(x)} \cos \frac{2\pi\tau}{z}. \quad (7)$$

Из этой предпосылки и гипотезы Фурье выводится закономерность, при помощи которой вычисляется температура, т. е. решается поставленная выше задача. После значительных упрощений окончательная формула, определяющая температуру поверхностного слоя пород через промежуток времени τ , примет следующий вид:

$$t_{(x=0)} = t_0 + W \frac{h}{\sqrt{\left(h + \sqrt{\frac{\pi}{az}}\right)^2 + \frac{\pi}{az}}} \cos \left(\frac{2\pi\tau}{z} - \arctg \frac{\sqrt{\frac{\pi}{az}}}{h + \sqrt{\frac{\pi}{az}}} \right). \quad (8)$$

Здесь к прежним обозначениям следует добавить величину h , равную отношению $\frac{\alpha}{\lambda}$.

Для пользования указанной формулой А. Ф. Воропаев приводит ряд теплофизических характеристик, полученных им в результате опытов и наблюдений в производственных условиях. Наиболее характерные и важные из них мы помещаем в табл. 5.

Небезынтересными для нас являются данные, полученные в результате опытных определений общего

Т а б л и ц а 5

Основные теплофизические характеристики

Породы	λ , ккал/м час град	α , м ² /час
Известняки . .	1,0	0,0022
Сланцы	0,8—1,25	0,0020
Песчаники . .	1,4	0,0022
Каменный уголь	0,2—0,4	0,0004

коэффициента конвективного теплообмена. Величина его колеблется в обычных рудничных условиях от 5 до 10 ккал/м² часград. Приблизненно он определяется в зависимости от скорости движения воздуха v и диаметра ствола d или приведенного размера выработки по следующему простому соотношению:

$$\alpha = 3,3 \frac{v}{d^{0,2}}.$$

Такой же непостоянной величиной является удельная теплоемкость рудничного воздуха. При сохранении постоянства объема, т. е. при изохорическом характере передвижения воздуха, ее величина колеблется около 0,19 и возрастает при изменении условий движения иногда до 0,30 ккал/кгград.

На этом закончим анализ и подытожим полученные результаты. В первую очередь следует отметить, что даже с использованием приведенных выше характеристик трудно аналитически подойти к определению всех перечисленных основных факторов, от которых будет зависеть процесс охлаждения выработанного пространства. Решения данной задачи даже с возможными упрощениями и в общей форме получаются, как мы видим, слишком сложными. Кроме того, при практическом использовании упрощенных методов мы не в состоянии оценить погрешность, которая может быть получена в конечном результате.

Результаты таких вычислений не будут достаточно отражать удельный вес каждого из составляющих рассматриваемого теплообмена,

Процесс охлаждения пород в горной выработке протекает при изменении их температуры и температуры теплоносителя. С поверхности в течение периода охлаждения снимается неодинаковое количество тепла, т. е. процесс теплообмена происходит в весьма сложных и изменяющихся условиях. Исходя из этого, приведенный выше анализ тепловых процессов необходим только для выяснения физической картины процесса охлаждения.

В такой же степени изложенное относится и к процессу намораживания льда. Поэтому наиболее верный путь для получения расчетных характеристик приводит нас к опыту, при помощи которого можно будет найти не только искомые параметры процесса охлаждения, но и уточнить многие технические условия, необходимые для успешного проведения всего цикла работ, связанных с закладкой выработанного пространства льдом.

III. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЬДА В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

За последнее пятилетие на нескольких рудниках Севера проводились опыты по использованию льда для закладки. Наиболее основательно и в достаточно крупном промышленном объеме льдозакладка экспериментировалась на одном из рудников цветной металлургии. Разрабатываемое рудником месторождение с поверхности до глубины 10 м покрыто крупнообломочными элювиально-делювиальными отложениями. Под ними залегают эффузивные породы, перекрывающие рудное тело — крупную пластообразную залежь сульфидных руд. Почва залежи сложена осадочными породами.

Зона вкрапленных руд с промышленным содержанием сульфидов имеет мощность в среднем около 50 м. В нижней ее части залегают сульфидные жилы, выполняющие трещины. В контакте последних с осадочными породами встречаются контактно-метасоматические руды с большим содержанием сульфидов. Мощность сульфидных жил колеблется от 0,1 до 2 м, причем более крупные часто разветвляются на несколько жил. Наличие в одном разрезе нескольких жил приводит к тому, что даже при незначительной мощности каждой из них выемочная мощность при отработке весьма значительна — 1,8—8 м.

По шкале проф. Протодияконова вмещающие породы относятся ко II категории с коэффициентом крепости 12—14 и временным сопротивлением при сжатии 1200—1400 кг/см². Температура пород на глубине нулевых годовых амплитуд — 4,5°.

Сульфидные жилы отрабатываются в настоящее время камерами размером 11×50 м при средней выемочной мощности в 3 м. Поскольку выемка производится под толщей вкрапленных руд с промышленным содержанием сульфидов, то для предохранения от обрушения между камерами оставлялись постоянные ленточные целики шириной в 4 м. Размер целиков определен по методу акад. Л. Д. Шевякова. При коэффициенте запаса 3 и временном сопротивлении руды на сжатие в 700 кг/см^2 * максимальное напряжение в целиках при глубине отработки 200 м определяется в 235 кг/см^2 .

Очистные работы проводятся на трех горизонтах, при этом основные откаточные штреки пройдены по богатой вкрапленной руде, а промежуточные по жилам. Над промежуточными штреками и под ними оставляются временные целики шириной 3 м, которые вынимаются одновременно с ликвидацией горизонта. Леточные межкамерные целики, в которых оставалась значительная часть ценной руды, проектировалось отработать через 15—20 лет открытым способом совместно с богатыми вкрапленными рудами.

Для обеспечения в будущем нормальных горно-технических условий на открытых разработках намечалось также заложить отработанные камеры дроблеными до 35—65 мм вкрапленными рудами из зоны окисления. В процессе проектирования были рассмотрены: гидравлический, пневматический и скреперный способы закладки камер. В качестве приемлемой приняли пневматическую закладку с помощью машин фирмы «Торкрет-автомат».

Для добычи закладки организовали специальный карьер, оборудованный дробилкой, транспортерами и электровозной откаткой.

По различным причинам (отсутствие машин, некондиционность закладочного материала и др.) организовать пневматическую закладку не удалось и ее производили скреперами.

Ввиду этого закладка выработанного пространства систематически отставала от выемки. Со временем она давала до 30% усадки, что вынуждало производить дополнительно забутовку пространства между кровлей и

* Определено испытанием кубиков из жильной массы.

уплотнившейся закладкой. Осуществить эту операцию полностью обычно не удавалось; поэтому нельзя было гарантировать нормальные горно-технические условия для будущих открытых работ, при производстве которых намечалось использовать мощные экскаваторы, большегрузные гондолы и другое тяжелое оборудование. Помимо того, скреперная закладка оказалась очень неэкономичной, что видно из следующих основных показателей:

Год производства работ	Объем закладки, м ³	Стоимость закладки, руб/м ³
1948	50 700	45,6
1949	75 000	41,8
1950	100 000	51,7
1950	9200	58,3*

Указанные недостатки (отставание и неудовлетворительное качество закладки, а также ее высокая стоимость) заставили пересмотреть все возможные способы закладки. Было решено проэкспериментировать закладку выработанных камер льдом.

Опыты по намораживанию льда в очистных выработках начались на руднике в 1949 г. В период их проведения было установлено, что скорость замерзания воды в камерах в слое высотой 2—5 и 10 см заметно возрастает с понижением температуры воздуха от —1 до —10°. При дальнейшем понижении температуры воздуха скорость процесса изменяется незначительно. Эта закономерность достаточно полно выявилась при послойном намораживании льда в камерах и при цементации им сухой закладки (фиг. 6).

Опытным путем установлено также, что при увеличении скорости движения воздуха в камерах на 50% процесс намораживания льда ускоряется в 5 раз. При имеющемся на руднике режиме вентиляции скорость намораживания льда весьма заметно увеличилась при повышении в камере конвективного теплообмена, для чего в ней на период опыта был установлен небольшой вентилятор (табл. 6).

По полученным материалам опытов и среднемесячной температуре воздуха наиболее холодных месяцев года в районе рудника (средняя за период ноябрь—март —22°)

* При подаче закладки с поверхности из специального карьера.

Таблица 6

Изменение скорости намораживания льда в камерах при повышении интенсивности конвективного теплообмена

Дата заполнения камеры водой	Объем зали- той воды, м ³	Дата окончания процесса	Период про- мораживания, сутки	Объем замерз- шей воды, м ³ /сутки
------------------------------	--	-------------------------------	--------------------------------------	---

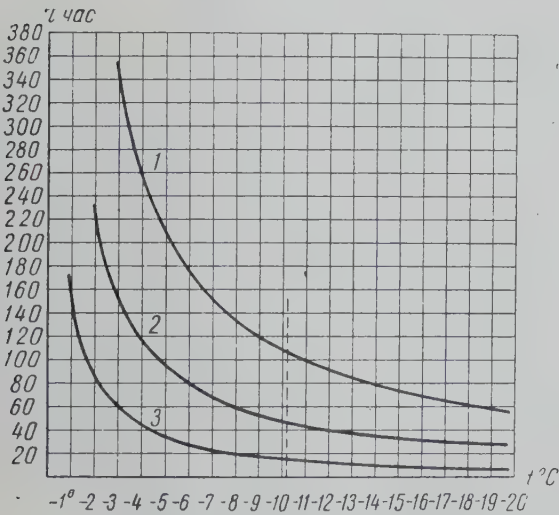
До пуска вентилятора

23/VIII	13	4/IX	16	0,8
---------	----	------	----	-----

После пуска вентилятора

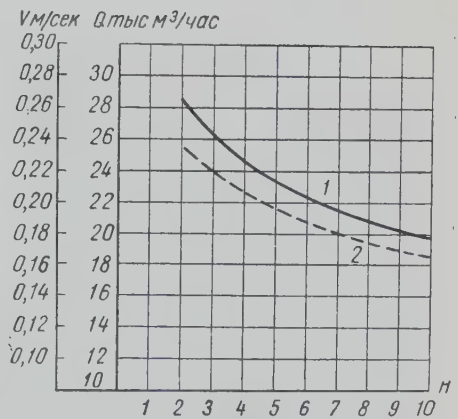
4/IX	10	7/IX	3	3,3
7/IX	12	10/IX	3	4,0

были вычислены оптимальные режимы проветривания камер в период намораживания в них льда (фиг. 7). Пе-



Фиг. 6. Зависимость скорости замораживания воды от температуры воздуха в камере:

1 — слой воды в 10 см, 2 — слой воды в 5 см,
3 — слой воды в 2 см



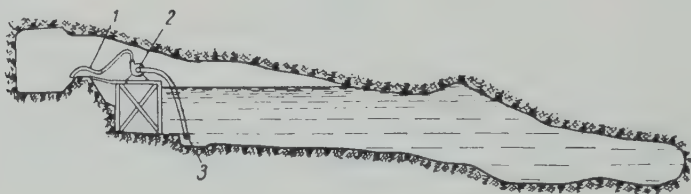
Фиг. 7. Оптимальный режим проветривания камер при послойном намораживании льда:

1 — расход воздуха, 2 — скорость воздуха, H — высота слоя воды, см

риод времени, необходимый при этом режиме для закладки отработанной камеры (высотой 3 м), определялся

60—80 сутками при послойном намораживании льда и 30—40 сутками при смешанной закладке льдом и породой.

В 1950 г. при организации работ по закладке выработанных камер льдом в промышленном масштабе все эти достаточно обоснованные и проверенные опытом данные не были приняты во внимание. Намораживание льда начали производить без изменения режима проветривания, существующего на руднике, и без усиления конвективного теплообмена в камерах, при естественной температуре, которая в зимний период не опускалась в камерах ниже -6° , а в летний период поднималась до $-2,5^{\circ}$.



Фиг. 8. Камера-бассейн:

1 — водопровод в камере, 2 — центробежный насос,
3 — всасывающий шланг

Работы по закладке проводились в следующей последовательности. На выработанных участках выбиралась тупиковая камера, в которую закачивалось с поверхности до 1000 м^3 воды (фиг. 8). Заполнение камеры водой производилось по трубам воздухопровода периодически, обычно два раза в месяц в ремонтные дни. На отдельные участки вода в камеру-бассейн подавалась с поверхности через специально пройденный для этой цели восстающий. Из этих камер вода закачивалась центробежным насосом в отработанные камеры, подлежащие закладке. Закачку воды производили после ее охлаждения в бассейне до температуры $0,5-1^{\circ}$. Опыт показал, что вода в камерах с более высокой температурой замерзала медленно.

Перед заливкой воды в нижней шейке камер устанавливались перемычки из обмазанных глиной досок для того, чтобы изолировать откаточные выработки нижнего горизонта. Перемычка наращивалась постепенно, по мере увеличения слоя льда в камере до заполнения льдом

шейки, после чего доски отбивались и использовались повторно.

Вторая перемычка устанавливалась в верхней части камеры для того, чтобы получить небольшой бассейн емкостью 40—50 м³. В этой перемычке высверливался ряд отверстий диаметром 4—6 мм. Часть отверстий забивалась колышками. После того как подготовительные работы были закончены, бассейн, образованный верхней перемычкой, заполнялся охлажденной водой, которая непрерывно поступала в камеру тонкими струями через открытые отверстия. Разливаясь по почве камеры и образующейся наледи, вода быстро замерзала. Количество поступающей в камеру воды регулировалось таким образом, чтобы, доходя до нижней перемычки, вся она замерзала. Процесс намораживания шел непрерывно, и лед получался весьма монолитным.

Там, где устроить распределительный бассейн было невозможно, воду в камеру закачивали из основного бассейна в количестве, необходимом для образования слоя высотой в 2—3 см. Вода в этом слое полностью замерзала в течение 2—3 суток. Для ускорения промерзания образующуюся сверху корку льда ежедневно ломали. При этом способе намораживания льда камеру разделяли по падению на несколько участков поперечными стенками из старого леса.

Кроме послойного способа намораживания льда в отработанных камерах, на руднике широко применялось цементирование льдом сухой закладки. Для этого в нижней шейке камеры, заполненной водой, сооружалась деревянная перемычка, обмазанная глиной. После этого в камеру периодически закачивали 40—50 м³ воды, охлажденной в бассейне.

Существующие на руднике условия способствовали тому, что первая порция воды в закладке замерзала полностью в течение 10—12 дней, а последующие значительно быстрее — через 3—4 суток. Процесс замерзания воды в пустотах закладки происходит в 1,5 раза быстрее, чем при послойном ее замораживании в камерах.

В течение первого года освоения льдозакладки (до 1/IX 1951 г.) всеми отмеченными выше способами было заложено в выработки рудника около 17 000 м³ льда, из них около 6000 м³ в камеры, ранее заложенные породой.

Основные показатели по отдельным месяцам приводятся в табл. 7.

Таблица 7

Основные показатели производства работ по льдозакладке на руднике в первый период ее освоения

Показатели	1950 г.			1951 г.					
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI
Всего наморожено льда, м ³	2958	1501	2786	1224	982	1041	711	477	421
Количество камер в закладке	21	24	27	34	32	40	32	30	26
Наморожено льда в одной камере в месяц, м ³	140	62,5	103	36	30,7	26	22	16	16

Ниже приводится средняя стоимость 1 м³ закладки камер льдом в течение первого года с указанием основных элементов затрат.

Статьи расхода	Стоимость 1 м ³ закладки, руб.
Рабочая сила	12,17
Вода	2,75
Электроэнергия	0,76
Материалы	0,74
Цеховые расходы	5,33
Всего	21,75

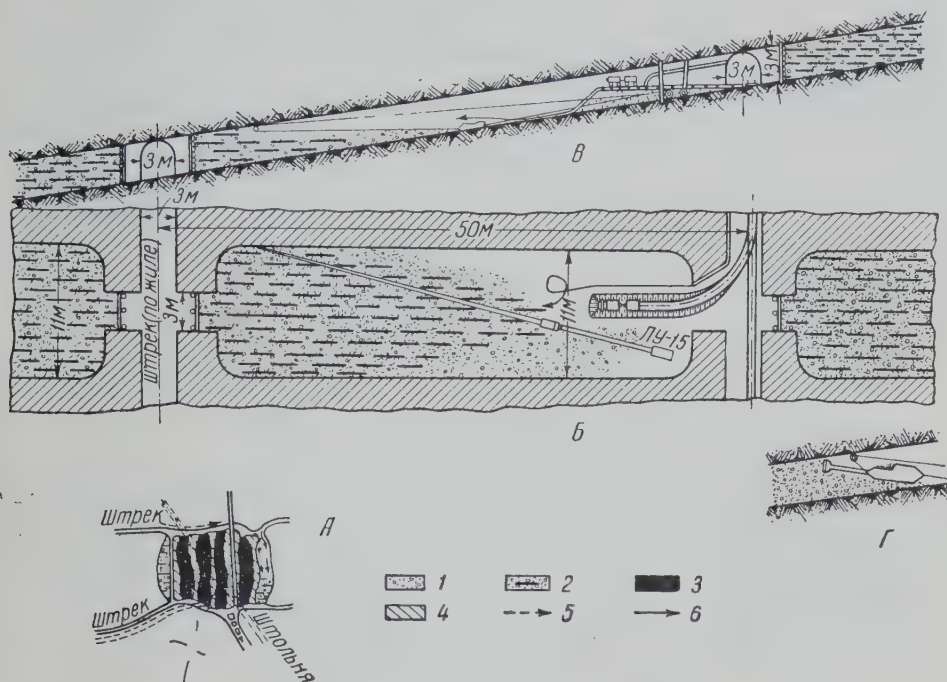
Для сравнения укажем, что стоимость скреперной закладки в 1950 г. колебалась от 51,7 до 58,3 руб/м³. От внедрения льдозакладки рудник получил свыше 1,8 млн. руб. экономии в год.

В настоящее время закладка выработанного пространства осуществляется на руднике в следующей последовательности:

- 1) заполнение выработанных камер смешанной закладкой и льдом;
- 2) выемка межкамерных целиков;

3) намораживание льда в выработанном пространстве после выемки целиков.

Смешанная закладка используется для предотвращения при выемке целиков чрезмерного давления на камеры, заложённые льдом. При ее осуществлении в камере монтируется скреперная установка с лебедкой ЛУ-15.



Фиг. 9. Смешанная закладка:

А — общая схема организации работ по закладке; 1 — сухая закладка, 2 — смешанная закладка, 3 — закладка льдом, 4 — руда, 5 — подача сухой закладки в камеру, 6 — подача охлажденной воды; Б — план камеры, Б' — разрез по падению, Г — приспособление для забутовки

Скрепер снабжается съемным толкателем, при помощи которого можно более тщательно заложить камеру породой. Охлажденная вода закачивается насосом или поступает самотеком из бассейна и распределяется по камере резиновым шлангом с наконечником. Полив водой производят периодически, по мере заполнения камеры породой (фиг. 9).

Опыт использования этого нового метода закладки в течение четырех лет показывает, что монолиты из породы и льда хорошо выдерживают повышенное горное давление, развивающееся при выемке межкамерных

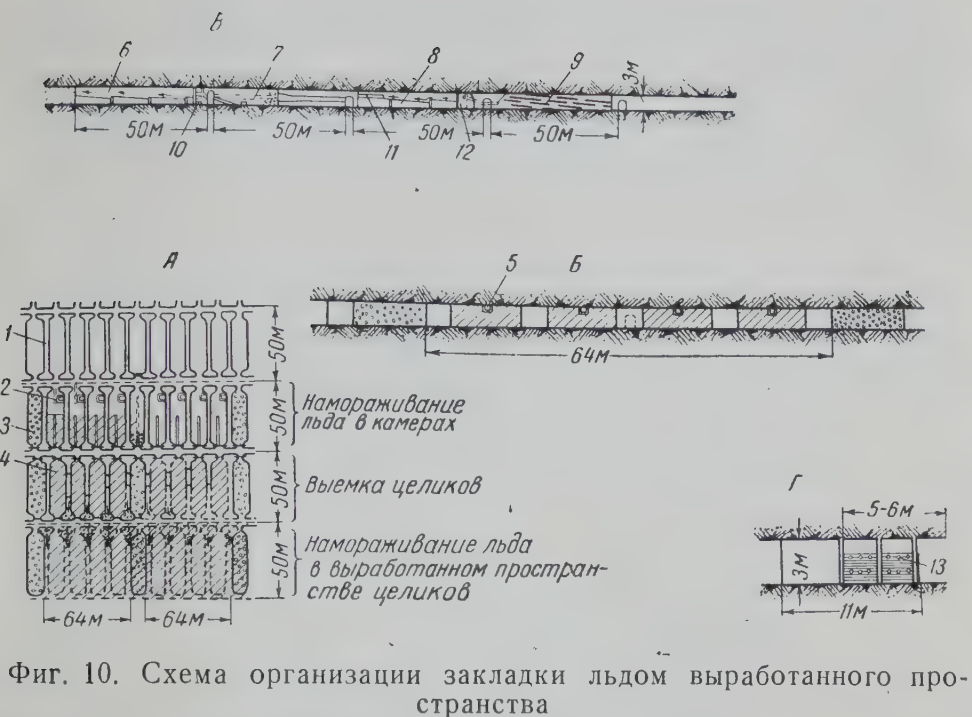
целиков. Закладка в камерах не оседает, толща с вкрапленными рудами, залегающая в кровле, не деформируется. Помимо повышенной прочности к достоинствам смешанной закладки следует отнести полное заполнение камеры с образованием прочного контакта с кровлей и стенками камеры.

На отработанных участках смешанной закладкой заполняется каждая пятая камера (через 64 м). Остальные камеры закладываются льдом. Процесс заполнения камер льдом за весь период использования льдозакладки на руднике почти не изменялся. Намораживание льда производят методом непрерывного полива охлажденной водой из небольших водосборников, устроенных в камерах, или послойным методом, как это изложено выше. Для управления температурным режимом в заполненных льдом камерах оставляют вентиляционные каналы сечением $1 \times 1,2$ м.

Из двух применяющихся методов предпочитают первый — метод непрерывного полива, так как при его использовании получается более прочный лед и процесс намораживания льда в камерах идет непрерывно и значительно быстрее. Выемка межкамерных целиков на отработанных участках осуществляется в последовательном порядке после окончательного заполнения камеры смешанной закладкой и льдом. Выработанное пространство между камерами заполняется льдом (фиг. 10).

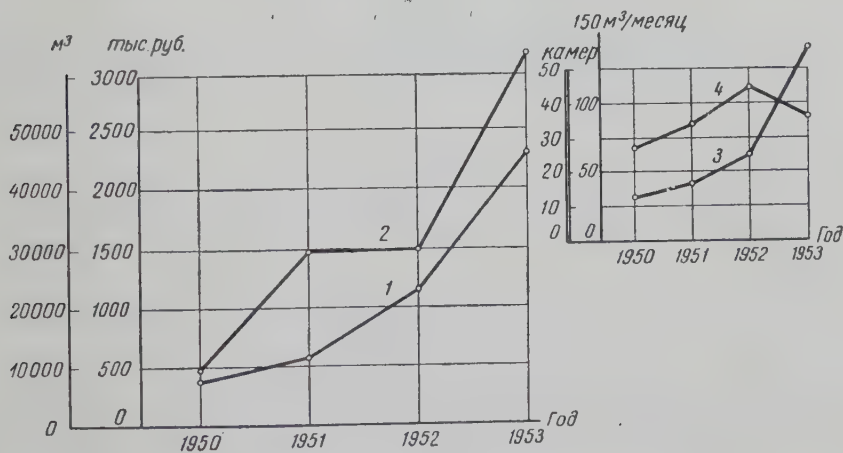
В 1953 г. на руднике был полностью освоен способ заполнения выработанного пространства льдом и смешанной закладкой. Объем льда, заложенного в камеры, непрерывно рос и стал достигать к концу этого года почти 5000 м³ в месяц. Динамика развития работ по льдозакладке на руднике за весь период ее освоения с основными технико-экономическими показателями приведена на графике (фиг. 11).

К значительно менее положительным результатам привели опыты по использованию льдозакладки на угольных рудниках. Предприятие угольной промышленности, на котором наиболее продуманно ставились эти опыты, разрабатывает свиту пластов каменного угля, мощность которых колеблется от 1,4 до 2 м. Угол падения пластов 27—35°. В почве и кровле пластов залегают глинистые песчаники и аргиллиты.



Фиг. 10. Схема организации закладки льдом выработанного пространства

А — общая схема организации работ по закладке: 1 — рудные целики, 2 — распределительный бассейн в камере, 3 — смешанная закладка, 4 — льдозакладка; Б — разрез по простиранию залежи: 5 — вентиляционный канал $1 \times 1,2$ м; В — разрез по падению залежи: 6 — намораживание льда в межкамерном пространстве, 7 — выемка межкамерного целика, 8 — намораживание льда, 9 — камера-бассейн, 10 — распределительный бассейн, 11 — вентиляционный канал, 12 — распределительный бассейн; Г — распределительный бассейн в камере (емкость 50 м^3): 13 — отверстия $d = 4-6 \text{ мм}$



Фиг. 11. Основные технико-экономические показатели по закладке камер льдом за период 1950—1953 гг.

1 — заморожено льда в камерах ($\text{м}^3/\text{год}$), 2 — экономия в год (тыс. руб.), 3 — заморожено льда в одной камере ($\text{м}^3/\text{месяц}$), 4 — количество камер в закладке

Зона выветривания на отдельных участках месторождения простирается по падению на глубину до 120 м от поверхности. Кровля на этих участках слабая, имеет большую вертикальную трещиноватость и слабую спаянность по отдельным напластованиям. Трещины часто заполнены льдом; толщина прослоек льда достигает 5—6 см.

В районе месторождения средняя глубина распространения мерзлых пород 250 м; на глубине 30 м от поверхности температура равна -7° . Среднегодовая температура воздуха на поверхности опускается ниже -12° .

Эксплуатацию месторождения начали в 1940 г. Выемка осуществлялась лавами на глубине 100 м, протяженность лав 90 м. Кровля поддерживалась забойщицким креплением и кострами.

Опытные работы на руднике по послойному намораживанию льда в выработанном пространстве начались в 1951 г. При осуществлении их были вскрыты следующие основные особенности в температурном режиме пород.

1. Во всех проветриваемых выработках рудника наблюдались сезонные колебания температуры пород; амплитуда колебаний на глубине 1,5 м от стенок составляла 20—25 % амплитуды колебаний температуры рудничного воздуха.

2. Более интенсивное проветривание в летний сезон по сравнению с зимним вызвало постепенное нагревание пород, вмещающих горные выработки.

3. При равномерном проветривании в течение всего года рудничный воздух постепенно охлаждал породы.

4. Более интенсивное проветривание в зимний сезон по сравнению с тепловым периодом года вызывало еще более сильное охлаждение пород, вмещающих горные выработки.

По результатам проведенных наблюдений режим вентиляции, установленный на руднике, не обеспечивал скорости намораживания льда, достаточной для заполнения им выработанного пространства вслед за продвижением очистных забоев. Суточный прирост объема составлял в лавах до 200 м³. Вентиляционная струя с расходом 400 м³/мин при температуре воздуха -20° обеспечивала получение при послойном намораживании не более

40—50 м³ льда в сутки. Для намораживания льда в более крупном объеме необходимо было бы перестроить вентиляционную систему рудника и установить новые, более мощные вентиляторы.

При проведении опытов стоимость намораживания 1 м³ льда в выработках рудника составляла около 30 рублей.

Исследователи, учитывая значительные потери угля в недрах, рекомендуют использовать льдозакладку при выемке целиков на старых выработанных участках. Они считают это экономически выгодным при условии, если капитальные горные выработки остались на этих участках сохранными.

Опыты по закладке льдом выработанного пространства проводились еще на нескольких рудниках угольной промышленности. Ставились они без соответствующей подготовки и учета имеющихся горно-технических условий, а также без достаточно ясного понимания сущности происходящих в горных выработках теплофизических процессов. В результате, они только дискредитировали новую, прогрессивную идею — использовать лед на отдельных рудниках Севера в качестве материала для закладки выработанного пространства.

Опытами, проведенными в горнорудной промышленности, установлена полная возможность использования льда в качестве материала для закладки выработанного пространства при соответствующих горно-технических условиях. Полученные результаты указывают, что при правильной организации и достаточном развитии работ можно:

- 1) ликвидировать недопустимое отставание закладки от очистных работ;
- 2) обеспечить тщательное заполнение льдом выработанного пространства;
- 3) уменьшить потери в целиках при камерной системе очистной выемки минимум на 50 %;
- 4) использовать лед в качестве цемента для увеличения прочности сухой закладки;
- 5) понизить стоимость закладочных работ минимум в три раза.

Эти основные выводы подтвердились полностью при промышленном использовании льда для закладки выра-

ботанного пространства. Работы по льдозакладке на полиметаллическом руднике проводились в период 1951—1954 гг. в достаточно крупном объеме — до 40 000 м³ льда в год. Они проводятся и в настоящее время, но все же без полного учета результатов экспериментальных исследований и без использования средств и методов, интенсифицирующих процесс льдозакладки. Намораживание льда осуществляется без предварительного охлаждения очистных выработок и без повышения интенсивности конвективного теплообмена в них. При производстве работ наблюдаются перебои в снабжении водой, что приводит к замедлению возможных темпов закладки (примерно в три раза) и к увеличению ее стоимости.

Из результатов первых попыток использования льдозакладки на рудниках угольной промышленности заслуживают внимания только отмеченные закономерности изменения температурного режима пород в руднике при проветривании выработок.

Выводы относительно ограниченной возможности использования льдозакладки на угольных рудниках необоснованы.

Несомненно, что для использования льда в качестве материала для закладки выработанного пространства необходимы соответствующие природные и горно-технические условия. Однако отнюдь не следует, что ее можно использовать только на старых отработанных участках при выемке целиков. Судя по опыту горнорудной промышленности, лед как материал для закладки можно было бы весьма продуктивно и экономически выгодно использовать и на отдельных рудниках, разрабатывающих мощные каменноугольные месторождения.

В данной работе мы употребляли неопределенный термин «благоприятные климатические условия». Переходя к решению крупного практического вопроса, следует уточнить этот термин, т. е. выделить зону, где климатические факторы благоприятствовали бы проведению операций по льдозакладке. К зоне с такими благоприятными условиями можно условно отнести территорию с устойчивыми холодными зимами, где число дней с температурой ниже —10° более 100. Сюда относятся в основном северо-восточные районы Советского Союза, за исключением приморской полосы. Рудники, расположенные на

этой территории, имеют наиболее благоприятные условия для использования льдозакладки.

По нашему мнению, все высказанные ранее опасения отпадут, если вспомнить, что лед различного генезиса



Фиг. 12. Залежь льда (из книги К. А. Волосовича «Геологические наблюдения между рр. Леной и Колымой». Труды комиссии по изучению Якутской АССР, т. XV, 1930, изд. АН СССР, Ленинград)

в разнообразных формах встречается здесь почти от поверхности и до довольно значительной глубины. Он входит составной частью в виде отдельных кристаллов, прожилков и небольших линз в рыхлые отложения, являясь их своеобразным цементом. В Яно-Индигирской впадине, в районе реки Колымы, Якутской АССР, в Забайкалье, Амурской области и в ряде других районов и областей Советского Союза встречаются ископаемые льды, залегающие в виде колоссальных залежей, мощных жил и линз (фиг. 12).

Большие скопления льда наблюдаются в этих районах на значительной глубине в зонах тектонических наруше-

ний. Очевидно, в таких районах лед можно будет использовать для закладки вырабатываемых горизонтов рудника по крайней мере до глубины, близкой к нулевой изотерме.

В заключение скажем несколько слов о других факторах, ограничивающих использование льдозакладки. К ним следует отнести прежде всего более или менее значительный приток поверхностных и грунтовых вод в выработки рудника. При большом водопитоке осуществить льдозакладку можно только при соответствующей канализации на отдельных участках рудника и то без достаточной гарантии за сохранность льдозакладки.

Необходимо учитывать, что при развитии горных пород на более глубоких участках месторождения почти всегда происходит постепенное осушение вышележащих отработанных горизонтов рудника. После внимательного изучения местных микрогидрогеологических условий отработанной части месторождения, соответствующего водосбора и достаточного охлаждения можно с достаточной уверенностью использовать лед для заполнения отдельных отработанных блоков и камер. В последнем случае придется только отказаться от намораживания льда послойным поливом, так как доступ в отработанные участки месторождения не всегда возможен и не рекомендуется по соображениям безопасности. При таких условиях применяют намораживание льда периодическим поливом из выработок, поддерживаемых для целей вентиляции.

Следует проверить и другой вполне технически выполнимый метод — закладку выработанной полости мелкими частичками льда, который получается из распыленной воды в верхней части выработки, подлежащей заполнению. Полученные в этом случае капли воды, падая с достаточной высоты в хорошо охлажденной и интенсивно проветриваемой выработке, превратятся в кристаллики льда. Такой искусственно полученный град, скапливаясь в нижней части, постепенно заполнит всю выработанную полость. В дальнейшем отдельные частицы льда, смерзаясь между собой, образуют монолит, вероятно аналогичный по своим свойствам толщам фирнового льда.

Подтверждением возможности практического осуществления подобной идеи могут служить результаты опытов Г. Н. Нурок [9] по утеплению забоев при производ-

стве экскаваторных и гидромеханизационных работ. Для этой цели автор использовал искусственно создаваемый снежный покров, полученный в зимний период путем распыления воды под давлением 4—5 атмосфер. Распылители были установлены всего лишь на высоте 3 м от поверхности. Уже при температуре воздуха -10° распыленная вода превращалась в пористый ледо-снег. Интенсивность снегообразования при данных условиях составляла 1,1—1,5 м³/час на один распылитель при расходе воды 0,55—0,65 м³. Такие же примерно показатели были получены по искусственному снегованию на одном из приисков Урала, где оно использовалось в целях отопления забоев при экскаваторной разработке рыхлых пород в зимний период.

Несомненно, при желании получить снежно-ледяную смесь в условиях рудника приведенные показатели могут служить только для ориентировки. Тем не менее осуществимость самой идеи не вызовет сомнений; это можно было бы подтвердить рядом других примеров и данными соответствующих вычислений, останавливаться на которых, к сожалению, не представляется возможным. Здесь следует только заметить, что если приток поверхностных вод является до известной степени ограничивающим фактором, то таким же фактором для возможности использования льдозакладки является и отсутствие достаточно крупных источников для целей водоснабжения в зимний период.

Последнее весьма свойственно восточным районам Советского Союза, где с наступлением холодов многие предприятия, в том числе и горные, испытывают большие затруднения в промышленном водоснабжении. В таких случаях вопрос о возможности использования льдозакладки решается, исходя из чисто местных условий и соответствующих экономических обоснований. Последние являются крайне важными и для решения поставленной задачи в целом. Поэтому, не задерживаясь на ряде других вопросов, связанных с природными условиями, перейдем к анализу горно-технических условий и технико-экономической выгоды использования льдозакладки.

IV. ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ВОЗМОЖНЫЕ СХЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЬДОЗАКЛАДКИ

В предыдущей главе, где оценивались результаты опытов в горной промышленности, были частично рассмотрены природные условия, благоприятствующие осуществлению льдозакладки. В дополнение к этому рассмотрим горно-технические условия, при которых, вероятно, придется осуществлять эту идею на практике, и разобрать общую схему необходимых подготовительных работ. Вследствие новизны осветить эти столь важные вопросы представляется возможным только в общих чертах, обратив внимание лишь на основное.

При благоприятных природных и горно-технических условиях использовать льдозакладку можно будет при разработке жильных и пластовых месторождений, а также на месторождениях неправильной формы. Показатели для ее применения с принципиальной стороны остаются теми же, что и в обычных условиях, т. е. она может быть использована при всех тех системах очистной выемки, где применяется метод искусственного поддержания выработанного пространства. К ним относятся системы с магазинированием руды с последующей закладкой, слоевые системы и ряд других.

При системах с открытым выработанным пространством рационально было бы использовать лед для устройства временных целиков и еще с большим успехом для закладки выработанных участков при эксплуатации россыпей подземным способом в районах Севера. При наличии благоприятных условий лед может найти достаточно широкое применение в тех случаях, когда на рудниках

определенной области вообще целесообразно использовать закладку для поддержания выработанного пространства.

Для доказательства рассмотрим несколько примеров. Вначале возьмем слоевую систему разработки жильного крутопадающего месторождения с закладкой. При использовании слоевых систем в обычных условиях, после проходки необходимых капитальных выработок, месторождение нарезается восстающими на отдельные блоки. Размеры блоков, общепринятые в практике, 30—60 м по восстанию и 60—80 м по простиранию. Отработка блока ведется горизонтальными или наклонными слоями высотой 2—3 м в направлении снизу вверх. Чаще всего выемка руды и закладочные работы чередуются во времени.

Не изменяя в принятой схеме основных параметров и условий, посмотрим, какие дополнения необходимо внести при использовании вместо сухой закладки льда, получаемого на месте путем намораживания. Из более трудоемких работ в этом случае придется осуществить работы, связанные с устройством специальной насосной станции, прокладкой утепленного водопровода и устройством дополнительной вентиляционной установки. Подобные работы хорошо освоены и могут быть выполнены на любом руднике с использованием имеющегося оборудования.

Охлаждение выработок никаких затруднений в организации интенсивного проветривания не вызывает. Необходимо только подвести холодный воздух с поверхности наиболее коротким путем без особых потерь к месту работ и правильно распределить его при помощи временных перемычек по отдельным блокам.

В суровых условиях Севера значительно сложнее организовать снабжение водой. При циркуляции по охлажденному трубопроводу воды с температурой, близкой к 0°, возможно образование ледяных пробок, что вызовет перебои в водоснабжении. Поэтому во избежание излишних потерь времени желательно отопить весь трубопровод, по которому охлажденная вода будет доставляться с поверхности до места работ. Поскольку намораживание льда производится периодически, то перед окончанием цикла необходимо после полива выпускать всю остаю-

щуюся в трубопроводе воду. А. И. Блинский [1] предлагает после спуска воды осушать трубопровод подогретым сжатым воздухом, что мы считаем для данных условий вполне правильным. Подогрев воздуха в этом случае легко осуществляется пропуском его через простейший подогреватель из ребристых чугунных труб.

На общей схеме организации очистных работ при использовании льдозакладки мы уже кратко останавливались. Для данного примера дополним изложенное следующими основными соображениями.

После проходки восстающих и рассечек начинается отработка блока наклонными или горизонтальными слоями. Выработанные слои заполняются льдом путем послойного намораживания воды поливом вслед за продвижением очистного забоя. Очистные и закладочные работы чередуются в снежных блоках. Доставка отбитой руды к рудоспуску производится по льду скрепером или отгребщиками.

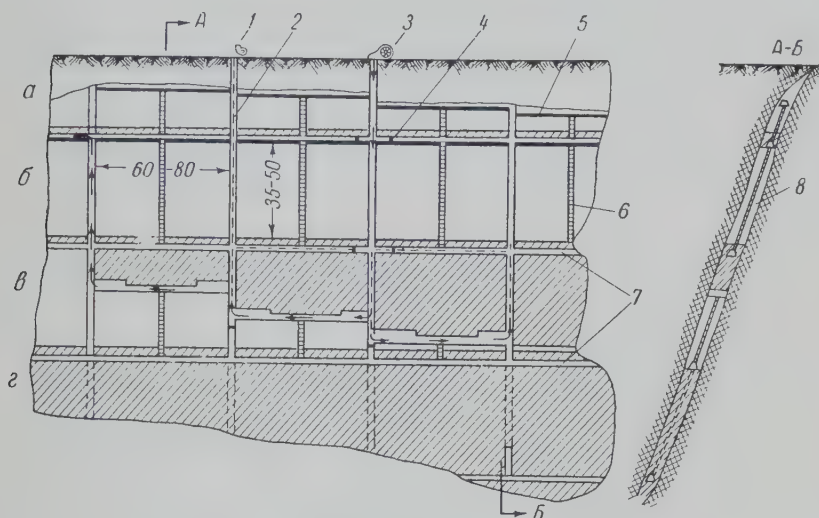
После того как уборка закончена и полотно зачищено от рудной мелочи, начинается процесс намораживания льда. В течение всего периода времени, необходимого для последней операции, т. е. для наращивания льда на высоту отработанного слоя, производится усиленное проветривание, для чего с поверхности нагнетается холодный воздух; наикратчайшим путем он должен поступить в восстающий одного из обрабатываемых смежных блоков.

В каждом из таких восстающих рекомендуется иметь два отделения, перекрывающихся лядами, что позволит направить воздушную струю в охлаждаемый забой, изолировав в достаточной мере смежный, где идут очистные работы. Вентиляционные штреки перекрываются на данном участке временными перемычками. Такая примерно схема организации мыслится на месторождениях, обрабатываемых горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства льдом (фиг. 13).

Вследствие недостаточной общей изученности всего вопроса в приведенной схеме не учитывается или слабо развит ряд операций, которые придется осуществлять при подготовке выработанного пространства и в процессе намораживания льда. Частично их можно будет представить, исходя из первых опытов использования льдо-

закладки на рудниках, а также из опыта строительства наземных технических сооружений из льда.

Одной из первых операций такого порядка является гидроизоляция блока, намеченного к отработке с льдо-закладкой. Для ее осуществления вполне пригодным является метод постепенного оледенения трещиноватых



Фиг. 13. Разработка горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства льдом:

а — верхний подэтаж (отработан и заложен льдом), *б* — I этаж (отработан и заложен льдом), *в* — II этаж (очистные работы), *г* — III этаж (подготовительные работы); 1 — насосная станция, 2 — водопровод, 3 — вентиляционная установка, 4 — вентиляционные перемычки, 5 — теплоизоляционные покрытия, 6 — рудоспуски, 7 — откаточные штреки, 8 — лед

участков и наружных стенок крепления восстающих с предварительной грубой заделкой всех больших щелей и отверстий.

Оледенение можно осуществить путем периодического полива водой из брандспойта небольшими порциями, чтобы вода быстро замерзла в виде тонких слоев и пленок. Успех этой сравнительно быстро осуществимой операции обеспечивается предварительным охлаждением участка работ, интенсивной вентиляцией и соответствующим опытом рабочих, проводящих оледенение. При соблюдении прочих условий особенно большое значение здесь имеет дозировка воды, так как при избытке она не

будет замерзать на месте полива, а будет скатываться через трещины и щели на полотно штрека и в восстающие. Правильная же дозировка расхода воды при поливе позволяет провести оледенение любой поверхности с любым наклоном, до вертикальной включительно.

Если судить по имеющемуся опыту, операцию по оледенению стенок следует начинать с наступлением первых устойчивых морозов (температура воздуха $-10-15^{\circ}$). Общее количество воды, необходимое для первичного оледенения стенок, определяется 30—50 л на 1 м^2 поливаемой площади. При правильном использовании этой воды все отмеченные участки выработанного пространства будут быстро покрыты прочной ледяной коркой толщиной в 2—4 см.

После того как работы по гидроизоляции закончены, необходимо очистить от отдельных образований льда восстающие и штрек; после этого можно приступить к намораживанию первого слоя льдозакладки.

Эту операцию можно проводить применительно к данному случаю, т. е. при отработке блока системой горизонтальных слоев, двумя путями: путем послойного намораживания льда на горизонтальных участках или путем периодических поливов. Рассмотрим и тот и другой более подробно, исходя из той возможности, которую они дают для усиления процесса намораживания льда в выработанном пространстве. Процесс этот, как мы условились в начале работы, следует рассматривать в зависимости от температуры воздуха и скорости его движения, так как эти основные факторы будут в основном определять интенсивность охлаждения поверхности воды и процесс ее кристаллизации в подземных условиях рудника.

В начале процесса промерзания тепло, выделяющееся при охлаждении и кристаллизации, передается через поверхностный слой воды прилегающему к нему слою воздуха. При отсутствии движения последнего вдоль зеркала замерзающей воды процесс теплопередачи идет замедленно вследствие плохой теплопроводности воздуха¹. После образования первичного слоя льда теплопередача

¹ $\lambda_{\text{воздуха}} = 0,02 \text{ ккал/м час град.}$

осуществляется уже не путем прямого теплообмена, а теплопроводностью через образовавшийся слой льда.

Более подробно весь этот процесс замерзания воды в замкнутом водоеме разобран в соответствующей литературе; здесь же мы считаем необходимым остановиться на скорости образования льда из тонкого слоя воды, налитого на ледяной покров. По исследованиям М. М. Корунова [6], зависимость между основными параметрами процесса в этом случае выражается следующей эмпирической формулой:

$$\tau = \frac{790h}{t}, \tag{9}$$

где

- τ — время промерзания, мин.;
- h — высота образовавшегося слоя льда, см;
- t — отрицательная температура воздуха, °С.

Найденная зависимость [9] справедлива для определения интенсивности процесса намораживания льда при отсутствии вентиляции и может быть в этом случае полностью использована в наших целях. С учетом охлаждающего действия воздушной струи интенсивность льдообразования при послойном намораживании на ледяном покрове значительно возрастает и ее можно определить ориентировочно, исходя из данных Государственного гидрологического института [4], приведенных нами в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Высота ледяного слоя (см), образующегося при намораживании воды на ледяном покрове в течение 1 часа при различной скорости движения воздуха

Скорость движения воздуха, м/сек	Температура воздуха, °С						
	—4	—5	—10	—15	—20	—25	—30
1	—	—	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
3	—	—	1,0	1,5	2,5	3,5	4,5
5	—	0,3	1,0	2,0	3,0	4,0	5,5
7	0,3	0,5	1,5	2,5	3,5	5,0	6,5
10	0,5	1,0	1,5	3,0	4,5	6,0	8,0

При определении возможной скорости льдообразования в подземных условиях следует принять во внимание, что работы по намораживанию льда придется осуществлять, как мы условились, при временной или постоянной изоляции участка, на котором они проводятся вследствие усиленного проветривания. Приточную вентиляцию мыслится организовать обособленно, используя для основной струи отдельные, строго определенные выработки, а при необходимости на отдельных участках — вентиляционные трубы. Количество воздуха и необходимая скорость струи должны быть определены в указанном случае на несколько ином принципе, чем это обычно принято в горном деле. Основным здесь является не проветривание, а обеспечение интенсивного теплообмена замерзающей воды с воздухом.

Для приближенного определения количества воздуха, необходимого для этого процесса, можно придерживаться следующей схемы вычислений. Льдозакладка осуществляется в течение холодного периода года, имеющего среднюю температуру воздуха t_2 . При движении воздуха с дневной поверхности до камеры температура его повысится до t_1 за счет теплообмена со стенками выработок, а при циркуляции в камере — до t за счет теплообмена с водой. Количество тепла, которое необходимо передать воздуху из воды, определяется следующим уравнением:

$$Q_1 = \frac{80\,000 \rho h F}{\tau_{\text{ср}}} \text{ ккал/час,}$$

где

ρ — плотность воды при температуре $t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t}{2}$;

h — высота слоя воды, м;

F — активная поверхность теплообмена, м².

Воздух при имеющейся у него теплоемкости сможет воспринять следующее количество тепла:

$$Q_2 = 0,3 W_{\text{min}} \theta \text{ ккал/час,}$$

где

0,3 — объемная теплоемкость воздуха, ккал/м³;

θ — разность температуры воздуха до и после теплообмена в камере, град.;

W_{\min} — количество воздуха, необходимое для замораживания воды, $\text{м}^3/\text{час}$.

При условии баланса тепла $Q_1 = Q_2$,

$$W_{\min} = \frac{80\,000 F}{0,3\theta} \cdot \frac{\rho h}{\tau_{\text{ср}}} \text{ м}^3/\text{час}.$$

Для примера предположим, что льдозакладка будет осуществляться с ноября по март и средняя температура воздуха на поверхности в этот период равна -22° . Допустим, что при движении с поверхности до камеры температура воздуха повысится до -20° , а после теплообмена в камере до -10° . При активной поверхности (площадь теплообмена в камере) в 550 м^2 .

$$W_{\min} = \frac{80\,000 \cdot 550}{0,3 \cdot 10} \cdot \frac{\rho h}{\tau_{\text{ср}}} = 14\,700\,000 \frac{\rho h}{\tau_{\text{ср}}} \text{ м}^3/\text{час}.$$

По материалам исследований в горнорудной промышленности, среднее время промерзания охлажденного слоя воды высотой $0,02 \text{ м}$ при температуре воздуха -15° составляет 10 часов. Примем $\rho = 1$, тогда минимально необходимое для замораживания воды количество воздуха составит:

$$W_{\min} = \frac{14\,700\,000 \cdot 0,02}{10} = 29\,000 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Определенное выше количество воздуха необходимо для съема скрытой теплоты кристаллизации воды, залитой в отработанное пространство. Для полного охлаждения воды (до 0°), для охлаждения стенок камеры и, по возможности, вмещающего его массива необходимо подсчитанное количество воздуха увеличить на $10\text{--}15\%$.

В таком случае мы обеспечим соответствующий режим вентиляции во всем выработанном пространстве и можем ожидать (с учетом охлаждающего влияния стенок выработок) значительного увеличения скорости льдообразования по сравнению с данными, полученными при первых опытах использования льдозакладки. При освоении последней будет, вероятно, выявлен ряд других возможностей, позволяющих значительно увеличить скорость льдообразования.

Последнее может быть подкреплено рядом примеров из инженерной практики. Одним из них служит многолетний опыт строительства ледяных изотермических складов системы М. М. Крылова. Условия производства работ по намораживанию льда при сооружении складов близко совпадают с условиями производства работ по образованию льдозакладки, причем они хорошо разработаны и апробированы на практике.

В процессе строительства таких складов было установлено, что послойное намораживание льда тонким слоем осуществляется хотя и просто, но мало эффективно, требует много времени, а получаемый лед имеет несколько меньшую теплопроводность. Достижимая норма намораживания льда при строительстве определяется около 0,5 см/сутки на каждый градус отрицательной температуры воздуха с учетом нормальных перерывов при работе в 2 смены. М. М. Крылов [5] считает, что эту норму можно увеличить вдвое, если приурочить работы по намораживанию к ночному времени, так как в дневной период инсоляция оказывает большое влияние на скорость процесса замерзания воды.

В подземных условиях при интенсивном проветривании и трехсменной работе можно принять скорость льдообразования в 1,5 см на градус отрицательной температуры. Таким образом, при температуре охлаждающего воздуха около -15° средняя скорость послойного образования льда в выработке может достигать 0,20—0,25 м/сутки. При высоте одной заходки в 2 м такая скорость льдообразования позволит заполнить выработанную ленту за 8—10 дней.

При возведении поверхностных сооружений из льда методом послойного намораживания производители работ в целях ускорения строительства часто прибегают к укладке на намораживаемую поверхность отдельных глыб и ледяной мелочи, а затем поливают их водой, чтобы стены превратились в сплошной монолит без пустот (так называемое смешанное намораживание). Очевидно, такой прием частично может быть использован и для ускорения закладки выработанной полости. Предварительную заготовку льда вполне можно осуществить на полотне верхних вентиляционных штреков, но она удорожит общую стоимость работ. Помимо указанного приема,

для ускорения процесса заполнения выработанной полости может быть использована вся отсортированная в забое пустая порода.

Периодическое послойное оледенение всей поверхности значительно продуктивнее. Процесс намораживания льда осуществляется в этом случае тем же путем, что и при оледенении стенок с целью их гидроизоляции.

При последнем способе намораживания основное внимание следует сосредоточить на оледенении наклонной поверхности почвы, где, исходя из имеющегося опыта, наиболее интенсивное льдообразование будет происходить в углу около смыкания наклонной с горизонтальной поверхностью вследствие сноса внутриводного льда из верхних зон. Этот лед вместе с пролитой водой будет скапливаться здесь и кристаллизироваться за счет холодо-содержания массива и нижних слоев льдозакладки. Смоченная поверхность льда может отдавать в этих условиях с каждого квадратного метра до 40 кал/час на каждый градус перепада от температуры замерзания воды до температуры охлаждающего воздуха, а сухая — примерно от 4 до 20 кал/м² час град в зависимости от интенсивности вентиляции и процесса излучения [5].

С учетом этих показателей периодический полив-смачивание всей обнаженной поверхности выработанной полости несомненно окажется продуктивнее плоского намораживания хотя бы в силу большой поверхности теплопередачи. Известное значение здесь будет иметь периодичность полива, поскольку при таком способе можно использовать холодосодержание льда и вмещающего массива. Конечно, метод периодического полива-смачивания позволит намного увеличить скорость заполнения выработанного пространства льдом, но при всей заманчивости такого ускорения необходимо считаться со сложностью его осуществления.

При экспериментировании периодического полива в подземных условиях необходимо обратить особое внимание на недопустимость избытка воды. Как показал опыт, охладившуюся ледяную поверхность необходимо аккуратно обливать небольшими порциями воды попеременно в различных местах выработанного пространства.

Очевидно, при практическом использовании льдозакладки все перечисленные методы заполнения выработан-

ного пространства льдом могут быть использованы в той или иной мере в зависимости от местных горно-технических и природных условий.

Несомненно и то, что при производственных испытаниях творческая инициатива инженерно-технического состава и рабочих найдет новые пути в деле усовершенствования и интенсификации процесса намораживания льда в выработанном пространстве по той общей схеме и отдельным сведениям, которые приводятся в данной работе из первого опыта льдозакладки в горной промышленности, а также и из опыта строительной практики.

Для полноты освещения вопроса кратко остановимся еще на теплоизоляции заложенных льдом блоков.

Поверхностные сооружения из льда защищаются от таяния и резких температурных колебаний слоем слабо-теплопроводных местных материалов в виде торфа, опилок, шлака, грунта с примесью опилок и других материалов в различных комбинациях.

Все эти изоляционные материалы, уложенные на лед, не могут оставаться сухими в течение длительного периода времени. При насыщении влагой теплопроводные свойства изоляционного слоя улучшаются и он начинает передавать довольно значительное количество тепла. Так, коэффициент теплопередачи сухого слоя смешанного теплоизоляционного покрытия толщиной около 1 м, по имеющимся данным, составляет 0,3—0,4 кал/м² час град. При увлажнении он постепенно повышается и достигает 0,6—0,8 кал/м² час град. Кроме того, отсыревшие теплоизоляционные материалы органического происхождения при положительной температуре воздуха начинают быстро гнить, выделяя при этом значительное количество тепла.

Однако в практике часто применяется даже преднамеренное увлажнение нижнего слоя изоляции с целью использования тормозящего действия скрытой теплоты кристаллизации воды.

В условиях рудника экспериментировать все эти методы и приемы вряд ли будет целесообразно. Надо думать, что в нашем случае для теплоизоляции заложенного в выработки льда лучше всего использовать небольшой слой обычной сухой закладки из пустых пород (1—1,5 м). Такой слой породы, перекрытый сверху более

тонкими фракциями, а при возможности глиной на высоту в несколько сантиметров, будет хорошо предохранять лед от таяния в течение непродолжительного периода положительных температур воздуха на поверхности в районах Севера. Напомним, что температура воздуха на рудниках Севера в течение самых жарких месяцев редко поднимается выше 0° , за исключением выработок, где проходит основная вентиляционная струя. От обогревающего действия вентиляционных струй выработанные участки мы условились предохранять соответствующими воздушными перемычками. Такие искусственно созданные условия вполне достаточны и подтверждаются данными наблюдений за состоянием ископаемых льдов, отдельные выходы которых весьма часто наблюдаются в выработках рудников на Севере и близко подходят к дневной поверхности.

На фиг. 12 показан ископаемый лед; мощность перекрывающего его слоя наносов лишь местами превышает 0,5 м. Очевидно, в более благоприятных условиях рудника лед в массиве, имеющем отрицательную температуру, при отсутствии инсоляции и даже обогревающего действия воздуха должен (и, конечно, будет) сохраняться вполне надежно под метровым теплоизолирующим слоем породы. Такая теплоизоляция будет стоить недорого, поскольку для ее осуществления используются простейшие мероприятия, часто проводимые при производстве горных работ для других целей.

Не останавливаясь на вспомогательных операциях по обогреванию трубопроводов и организации приточной вентиляции, поскольку они достаточно освоены в практике работы горных предприятий, разберем еще те затруднения, которые могут возникнуть при практическом осуществлении льдозакладки.

Основными из них следует считать:

1. Значительные затраты времени, необходимого для заполнения льдом выработанного слоя, т. е. значительную растянутость полного цикла работ во времени.
2. Ограничение времени производства очистных работ с льдозакладкой периодом низких температур воздуха на поверхности.

Сказать что-либо определенное относительно продолжительности полного цикла сейчас нельзя, поскольку

недостаточно выяснен вопрос о скорости льдообразования в подземных условиях. Материалы первых опытов в этом направлении не показательны. Можно только заметить, что все здесь будет зависеть от температуры охлаждающего воздуха, вмещающих пород, а также от температуры воды, используемой для намораживания льда.

Учитывая достигнутые практикой показатели и наличие на некоторых рудниках достаточно развернутого фронта очистных работ, можно говорить о рациональности использования льдозакладки, особенно если принять во внимание, что время, необходимое для полного цикла, вероятно, значительно сократится за счет совмещения некоторых операций и еще в большей степени за счет возможной интенсификации процесса намораживания льда.

Относительно организации работ в летний период следует заметить, что с наступлением периода положительных температур воздуха на поверхности всегда можно переключить основное внимание на горно-подготовительные работы, тем более, что продолжительность такого периода в районах Севера обычно не превышает одной трети года. При необходимости продолжать в этот период добычу ее можно в таком случае организовать с обычной закладкой, причем при использовании закладочного материала с поверхности необходимо в целях сохранения льдозакладки тщательно перекрыть ее слоем теплоизоляционных материалов, имеющихся на месте, как это показано на фиг. 14. С наступлением холодного периода работы по намораживанию льда могут быть возобновлены в блоке после достаточного охлаждения забоя.

Вторым выходом из такого положения является организация на летний период добычи на отдельных участках месторождения с использованием систем, позволяющих после отработки блока заполнить выработанное пространство льдом. К ним относятся системы с магазинированием и последующей закладкой, с распорной крепью и ряд других, включаемых проф. И. И. Трушковым в системы, при которых используются методы искусственного поддержания очистного пространства.

Оба указанные выше решения вполне практически выполнимы, причем первое является более приемлемым

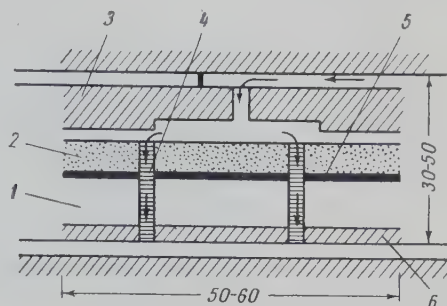
с точки зрения организации всего технологического комплекса работы рудника, второе же имеет известные преимущества в отношении сохранения определенного температурного режима. При сосредоточении очистных работ в летний период на отдельном участке или горизонте рудника представляется возможность хорошо изолировать все выработанное и заложное льдом пространство от доступа теплого воздуха.

Однако вряд ли можно надеяться на использование второго варианта на практике, так как для этого пришлось бы значительно увеличить фронт очистных работ, а также пойти на дополнительные расходы, связанные с более продолжительным поддержанием в рабочем состоянии части выработок, транспортных, воздушных, вентиляционных и других коммуникаций и устройств. В порядке обсуждения второй вариант, очевидно, можно предложить лишь для отдельных рудников Дальнего Севера, которые по ряду причин работают сезонно, значительно сокращая очистные работы в летний период.

Заканчивая вопрос отработки крутопадающих жильных месторождений небольшой мощности с льдозакладкой, следует упомянуть о тех возможностях, которые она дает для выемки сближенных жил. Вследствие хорошего смерзания льда с вмещающими породами и временным креплением в этом случае можно с большим успехом осуществлять раздельную их выемку даже при наличии известной нарушенности промежуточного слоя пустых пород. Здесь только придется внимательно наблюдать за выполнением льдом всего выработанного слоя.

Перейдем к другим вариантам использования льдозакладки, причем схему и организацию закладочных работ оставим принципиально прежней.

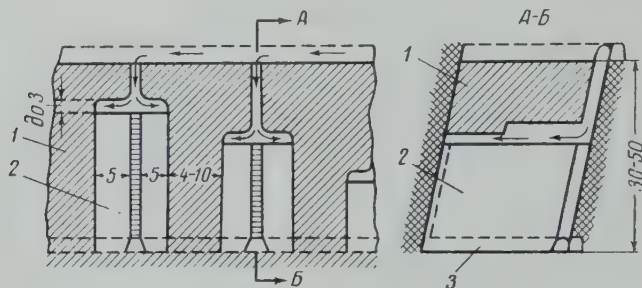
Разработка крутопадающих месторождений большой мощности (свыше 5 м) осуществляется иногда слоевой



Фиг. 14. Разработка слоями с комбинированной закладкой:

1 — лед, 2 — сухая закладка, 3 — руда, 4 — рудоспуск, 5 — теплоизоляционное покрытие, 6 — целик

системой с выемкой камерами шириной от 4 до 12 м. Выемка межкамерных целиков, имеющих ширину от 4 до 6 м, организуется при этой системе во вторую стадию. На фиг. 15 показана схема возможного использования в данном случае льда для закладки выработанных камер. Большим преимуществом его использования является применение той же системы для выемки межкамерных целиков. Выемка последних обычно осуществляется в практике другими системами и не всегда проходит удачно. Льдозакладка вследствие ее монолитности позволит, вероятно, осуществить эту операцию без особых осложнений.



Фиг. 15. Разработка горизонтальными слоями с выемкой камерами:

1 — руда, 2 — лед, 3 — вентиляционная просечка

Использовать лед можно при системах с креплением и закладкой. Преимуществом льдозакладки и в данном случае является полная монолитность ее из-за хорошего смерзания льда с деревом и вмещающими породами.

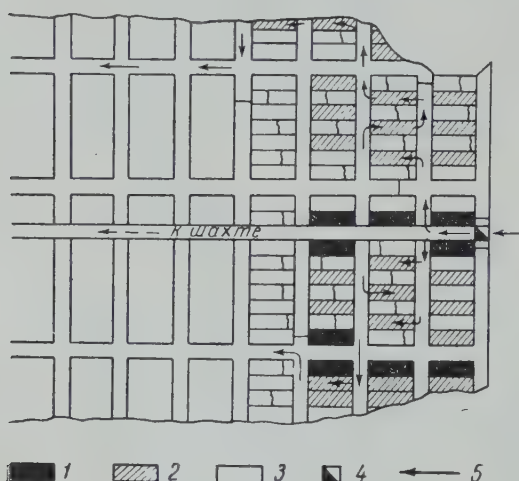
Рассмотрим возможность использования льдозакладки при разработке россыпных месторождений. Наиболее совершенной из используемых здесь систем очистной выемки считается столбовая. Она часто применяется в практике для разработки достаточно крупных по запасам месторождений, причем добыча начинается только после того, как все шахтное поле нарезано. Отработка организуется уступами от границ шахтного поля по направлению к шахте. Ширина столбов устанавливается в зависимости от устойчивости кровли и колеблется, по имеющимся данным практики, от 10 до 20 м.

Помимо крепления выработанные участки частично закладываются отсортированной породой. При большом давлении часто используется усиленное крепление с двойными и даже тройными подхватами. Все эти виды крепления применяются в столь значительных размерах, что не менее 40—45 % отработанного шахтного поля остается закрепленным деревом и заложено вручную отсортированной породой. При этом расходуется большое количество крепежного леса и рабочей силы, причем извлечь лес из выработанного пространства не всегда удается даже частично.

Все это позволяет рекомендовать для определенных природных условий закладку выработанного пространства льдом. Очистную выемку здесь осуществляют отдельными лентами через одну, как это показано на фиг. 16. Ширина их определится в каждом конкретном случае состоянием кровли. Выемку целиков, оставленных между лентами, мыслится организовать лишь после того, как ленты в блоке будут выработаны полностью и заполнены льдом. Всю отсортировавшуюся в процессе очистной выемки пустую породу следует использовать для закладки лент, смежных с откаточными выработками, что позволит закрепить последние только обычными дверными окладами.

С последующим оледенением каменной выкладки такие откаточные выработки будут хорошо противостоять горному давлению при сохранении в отработанной части шахтного поля соответствующего температурного режима. Для сохранения последнего следует использовать зимнюю хладозарядку, как указано выше. Правильное распределение охлаждающих потоков воздуха по сложной системе горных выработок в этом случае может быть достигнуто при помощи легких временных перемычек и даже парусов. Перемычки, которые следует сохранить на летний период для изоляции выработанного шахтного поля, могут быть получены за счет намораживания льда на легкий деревянный каркас. Теплоизоляция наружной стенки перемычки легко осуществляется применением местных материалов. Добычу в летний период можно будет вынести на отдельный участок, совершенно изолировав тем самым заложенное льдом выработанное пространство.

Все эти соображения целиком можно отнести и к системе отработки узких россыпей поперечными лентами. В этом случае выемку легко осуществить забоями, расположенными в шахтном порядке, и проводить ее от шахты к границам шахтного поля, что является значительным преимуществом.



Фиг. 16. Разработка россыпи длинными столбами с льдозакладкой:

1 — закреплено укладкой и льдом, 2 — льдозакладка, 3 — золотоносный пласт, 4 — вентиляционный шурф, 5 — направление вентиляции

Еще несколько слов о сплошной выемке на россыпях. На Крайнем Севере часто практикуется их отработка лавами, причем для временного поддержания кровли используют костры, оргannую крепь, а при плохой кровле оставляют целики, т. е. теряют часть песков с промышленным содержанием металла. Целики и часть крепления легко можно заменить льдозакладкой, используя ее в

виде отдельных столбов и лент, полученных путем намораживания льда в деревянном каркасе.

Для выяснения экономической стороны ознакомимся вначале с имеющимися показателями стоимости закладочных работ в обычных условиях, осуществляемых в настоящее время несколькими общепризнанными методами. Следует заметить, что достаточный опыт применения систем с закладкой и возросшая техническая вооруженность горной промышленности позволили в значительной мере удешевить закладочные работы и повысить их эффективность. В настоящее время широкое распространение в горной промышленности получила самотечная закладка и закладка скреперами. Стоимость этих работ на 25—40% ниже, чем при ручной закладке.

Еще более эффективной является гидрозакладка. Однако несмотря на значительное снижение стоимость за-

кладочных работ все же остается весьма высокой. Так, если для ориентировки принять данные В. М. Попова [10], то средняя стоимость закладочных работ на рудниках Урала колеблется от 13 до 32 руб/м³. Пределы ее колебаний для отдельных способов сведены нами в табл. 9. Эти показатели характерны более или менее только для

Т а б л и ц а 9

Стоимость закладочных работ на рудниках Урала

Способ закладочных работ	Стоимость закладочных работ, руб/м ³	Отношение к стоимости ручной закладки, %
Ручная закладка при системе очистных работ горизонтальными слоями . . .	32	100
Самотечная закладка при системе очистной выемки наклонными слоями	22—24	70—75
Скреперная закладка при системе очистной выемки горизонтальными слоями без крепления	19—22	60—70
Гидравлическая закладка при системах очистных работ горизонтальными и наклонными слоями	13—10	40—60

медных рудников Урала, уже давно освоивших системы горных работ с закладкой.

В целом по горной промышленности стоимость закладки колеблется в более широких пределах и обычно она значительно выше приведенных данных. Общая стоимость закладки складывается из расходов, связанных с добычей закладочного материала, доставкой его на поверхность и в руднике до места назначения, и из стоимости работ по распределению доставленного материала в выработанном пространстве. При этом стоимость добычи и транспортировки достигает 60% общей стоимости работ по закладке.

Водоснабжение при льдозакладке будет составлять значительно меньший процент; по ценнику издания 1951 г. средняя стоимость 1 м³ воды в зимний период на промышленных предприятиях в Якутской АССР и в прилегающих к ней районах определяется в 3,7 рубля. Сред-

ная стоимость воды на горных предприятиях условно принимается по 3 руб/м³. Другими словами, при использовании льдозакладки в значительной мере отпадут все расходы, связанные с добычей и транспортировкой закладочного материала и составляющие основную статью расходов. Поэтому стоимость льдозакладки будет, в основном, определяться расходами, связанными непосредственно с организацией намораживания льда в выработанном пространстве.

Исходя из практики строительства ледяных складов и условий их производства, мало чем отличающихся от предполагаемых в руднике, и сметно-финансового расчета Союзгипроторга для типовых проектов ледяных складов, можно полагать, что стоимость намораживания льда в руднике не будет превышать 3 руб/м³. Учитывая дополнительные расходы, связанные с водоснабжением, организацией специальной вентиляции для интенсивного проветривания выработок, и другие более мелкие расходы, увеличим общую стоимость льдозакладки вдвое. В таком случае она не будет превышать 7—8 руб/м³, т. е. льдозакладка будет стоить вдвое дешевле гидрозакладки — наиболее экономичного метода из применяющихся в настоящее время.

То же можно сказать и при сравнении льдозакладки с другими практикующимися методами искусственного поддержания выработанного пространства. Возьмем для примера наиболее распространенное в горной промышленности крепление деревом. Средний расход крепежного леса при разработке рудных месторождений колеблется в пределах 0,03—0,20 м³ и при разработке россыпей — 0,10—0,23 м³ на каждый кубический метр добытой горной массы [7, 11]. Для наиболее распространенных в нашей горной промышленности систем разработки эти показатели приведены в табл. 10.

Из табл. 10 видно, что при использовании систем с креплением на каждые 5—10 м³ добытой горной массы расходуется в горной промышленности 1 м³ древесины, стоимость заготовки которой в северных районах редко обходится дешевле 30—50 рублей. Еще выше стоимость привозного крепежного леса в глубоких районах Севера. В этом случае стоимость самой древесины, используемой для крепления, без учета стоимости необходимой рабочей

Расход крепежного леса при использовании отдельных систем, разработки рудных и россыпных месторождений

Система разработки	Расход леса на 1 м ³ добытой горной массы, м ³
Рудные месторождения	
с креплением	0,1 —0,15
с креплением и закладкой	0,15—0,20
с закладкой	0,03—0,09
Россыпные месторождения	
короткими столбами при устойчивой кровле	0,18—0,20
то же при слабой кровле	0,22—0,23
длинными столбами при устойчивой кровле	0,10—0,12
то же при слабой кровле	0,12—0,14

силы для его установки будет намного превышать общую стоимость закладки льдом.

Следовательно, даже при использовании льда хотя бы для закладки выработанного пространства верхних горизонтов на рудниках Севера могли бы быть сэкономлены огромные количества лесных материалов. Возможность и рациональность подобной операции не вызывает каких-либо сомнений с горно-технической и экономической точек зрения.

Лед при правильном его использовании может дать значительные преимущества перед всеми другими исполнителями, а льдозакладка — перед другими методами искусственного поддержания выработанного пространства. Нельзя отрицать, что льдозакладка, как и другие методы, помимо положительных имеет и ряд отрицательных сторон. К ним относятся особые условия труда при намораживании льда в очистных выработках. Работы, связанные с этой операцией, должны быть отнесены к особым, требующим снабжения рабочих специальной обувью и теплой одеждой. Остальные опасения относительно специфичности условий труда горнорабочих, занятых на очистных работах с льдозакладкой, являются необосно-

ванными. Это подтверждается рядом наблюдений за производительностью и заболеваемостью рабочих на многих горных предприятиях, расположенных в отдаленных северных районах. При понижении температуры воздуха в руднике до -20° оба эти показателя не намного отклоняются от обычных. Температура в очистных выработках, заложённых льдом, не должна быть ниже указанного предела даже после интенсивного их проветривания. Несомненно, что после первой же отпалки поверхность намороженного льда покроется мелкими осколками и пылью, что позволит оперировать на ней даже с большей уверенностью, чем на тех же временных полках, которыми так часто пользуются в горном деле при очистных работах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как уже отмечалось, идея о возможности использования льда в качестве закладочного материала и опыты его промышленного использования принадлежат инженерам-производственникам.

Авторы этих предложений обычно уделяли основное внимание действительным и мнимым качествам льдозакладки. Эксперты же в своих заключениях оттеняли в основном только отрицательные стороны предложенной идеи, причем часть из высказанных опасений не имеет, по нашему мнению, достаточных оснований. Все это объясняется новизной и сложностью поставленного вопроса и отсутствием ряда исходных данных, часть которых нам все же удалось более или менее полно осветить в настоящей работе.

Такое обобщение позволяет и сейчас более полно оценить сущность и практическую значимость различных предложений, а также до известной степени предугадать те затруднения, которые неизбежно возникнут при дальнейших попытках практического использования льдозакладки.

Очевидно, при этом необходимо исключить из рассмотрения затруднения, которые могут возникнуть при неправильном ведении работ по льдозакладке. В первую очередь к ним относится замедленная скорость процесса льдообразования при намораживании льда поливом, что может быть результатом неполноценности предварительного охлаждения при слабом притоке хладагента — воздуха с поверхности и при использовании при намораживании льда воды с повышенной температурой.

Вторым наиболее существенным положением такого порядка являются часто встречающиеся в заключениях опасения за цельность льдозакладки в летний период. При соответствующей изоляции выработанных и заложённых льдом блоков нет надобности доказывать возможность сохранения льдозакладки. Как уже отмечалось, в природе мы встречаемся с огромными залежами ископаемого льда, находящегося в совершенно одинаковых условиях. Это, по нашему мнению, является лучшим доказательством несостоятельности подобных опасений.

Для того чтобы покончить с такого рода положениями, остановимся еще на одном из них, имеющем скорее не технический, а принципиальный характер. При оценке льда в качестве материала для закладки иные специалисты исходят из практического значения закладки как метода, имеющего в настоящее время незначительное распространение в практике. Такой подход является неправильным при решении любой новой технической задачи, а в данном случае позволяет сузить и ограничить область возможного использования льдозакладки. Закладку как метод используют сейчас мало и плохо потому, что она дорогая, а не потому, что ее сложно применить в тех или иных горно-технических условиях. Только с таких позиций можно и следует рассматривать идею об использовании льда в качестве закладочного материала, а результаты первых опытов в промышленности и предложенные схемы — как первые попытки вещественного воплощения предложенной идеи, которые частично позволяют выявить таящиеся в ней возможности.

Рассмотрим положения, которые имеют под собой известное основание. Среди них часто встречается мнение о сложности операций по намораживанию льда в подземных условиях. Особенно трудоемкой и практически невыполнимой считается изоляция выработанной камеры или полости от окружающих выработок с целью предупреждения утечки из них воды и даже охлажденного воздуха.

В какой-то мере еще можно согласиться с мнением о тех затруднениях, которые могут встретиться при намораживании льда в выработках, поскольку речь идет об освоении нового производственного процесса.

Опасения же относительно возможности изоляции выработок перед льдозакладкой не являются обоснованными. Как показали опыты, для этого достаточно будет в хорошо охлажденной камере или полости заделать все рудоспуски и ходки крепью, а затем полить несколько раз заделку и трещиноватые участки тонкой струей охлажденной воды. При таких условиях пленки воды скоро замерзают, а образующийся лед плотно закрывает все трещины, щели и другие мелкие отверстия.

Изложенное подтверждается достаточным опытом строительства ледяных изотермических складов и других сооружений из льда. При их возведении обычно используется только грубый деревянный каркас, при помощи которого намораживаются своды и стены сооружений.

Намораживание льда поливом по наклонным плоскостям осуществляется весьма успешно, и все операции по намораживанию не являются настолько сложными и громоздкими, чтобы их нельзя было осуществить при соответствующей подготовке и опыте в подземных условиях рудника.

С другой стороны, низкая температура воздуха, являющаяся в данном случае основным фактором усиленного намораживания льда, будет в значительной мере осложнять водоснабжение. Здесь приходится считаться с необходимостью устройства для целей водоснабжения в зимний период специальных гидротехнических сооружений, утепленных водопроводов и т. п. Заметим, что стоимость всех этих сооружений, а также и стоимость работ по гидроизоляции выработанного пространства перед намораживанием льда и теплоизоляции выработанных и заполненных льдом блоков, во всяком случае, будут ниже стоимости работ по добыче сухой закладки без учета транспортных расходов, связанных с доставкой добытого материала к месту назначения.

Более обоснованными являются соображения о возможном удлинении периода отработки отдельных блоков и горизонтов рудника. Основанием для таких опасений является недостаточная изученность процесса льдообразования в подземных условиях.

Определенная нашими приближенными расчетами скорость льдообразования, как видно, колеблется в довольно широких пределах — от 1 до 2 см/час. Показатели

эти являются сугубо ориентировочными, подсчитанными без учета холодосодержания массива, причем отклонения здесь возможны и в ту и другую сторону. Пока только возможно полагать, что при благоприятных условиях техническая скорость льдообразования будет повышена, в связи с чем при надлежащей организации работ не будет наблюдаться большого разрыва между очистными работами и работами по намораживанию льда в выработанном пространстве. Кроме того, при наличии затруднений в данном направлении всегда можно найти выход в частичном использовании сухой закладки. Образующийся при этом льдобетон только улучшит механические свойства слоя закладки и сопротивляемость ее горному давлению.

Не менее рациональным в данном случае может оказаться заполнение выработанного слоя или части его отдельными блоками льда, своевременно заготовленными на отдельных площадках. Блоки и глыбы льда, заложенные в выработанное пространство, при поливе их водой быстро смерзнутся в плотный монолит, обладающий достаточной прочностью.

На этом мы закончим обобщение отдельных положений и перейдем к общей оценке предложенной идеи. Сделаем это путем сопоставления требований, выдвигаемых горной практикой для рационального использования закладки, и теми вероятными возможностями к их удовлетворению, которыми мы будем располагать, применяя лед в качестве закладочного материала.

Первым из них, как уже отмечалось, при наличии общих благоприятных условий выдвигается требование о невысокой стоимости добычи и транспортировки закладочного материала при достаточных его запасах. Очевидно, лед будет отвечать этому условию более полно, чем любой из применяющихся в настоящее время исполнителей. То же самое можно сказать о его антипирогенных свойствах и инертности в пожарном отношении.

Относительно механических качеств льда мы пришли к выводу, что они вполне удовлетворяют тем требованиям, которые обычно предъявляют к материалу закладки, а в некоторых отношениях и превосходят их при условии сохранения в выработанном пространстве определенного температурного режима.

Режим этот, как мы знаем, не является постоянным, но его возможно не только сохранять в определенных пределах, но и направленно изменять, регулируя теплообмен между воздухом, поступающим с поверхности, и активной поверхностью пород в руднике. Таким образом, в благоприятных природных условиях лед удовлетворяет всем основным требованиям, предъявляемым к материалу закладки.

Помимо основных он имеет и ряд дополнительных качеств, присущих только ему вследствие своеобразности его физических свойств. Особо важным из них, по нашему мнению, является способность льда к прочному смерзанию с поверхностью крепления и горными породами, что позволяет рассматривать льдозакладку как своеобразный монолит, которым прочно и плотно будет заполняться выработанное пространство. Такое качество дает возможность рассчитывать не только на хорошую сохранность выработок на отработанных и заложенных льдом горизонтах, но и дает достаточное основание для предположений о снижении общих потерь полезного ископаемого в недрах. Последнему на отдельных месторождениях должны в достаточной мере способствовать антипирогенные свойства льдозакладки. К сожалению, все эти положительные свойства в полной мере могут быть использованы только при разработке месторождений в определенных природных условиях.

Не следует, однако, при этом забывать, что дальнейшее развитие горной промышленности в Советском Союзе всего вероятнее будет осуществляться за счет освоения новых месторождений, открытых и разведанных в северных и северо-восточных районах страны, т. е. как раз в области, где климатические и другие природные условия исключительно благоприятны для успешного применения льдозакладки. Широкое ее внедрение дало бы возможность намного экономичнее разрабатывать здесь значительную часть месторождения, позволило бы сохранить в народном хозяйстве страны большое количество лесоматериалов и повысило бы общую эффективность горных работ.

Изложенное побудило автора сделать первое обобщение предложенной производственниками идеи о льдозакладке, проанализировать первые опыты ее использова-

ния по материалам, собранным М. И. Дороховым, и рациональность дальнейшего применения в практике горного дела. Как видно, полученные результаты говорят о необходимости ее дальнейшей углубленной разработки и апробации путем тщательно поставленных опытов, проведенных на основе продуманного содружества научных и проектных организаций с производством. Было бы весьма желательным провести широкое обсуждение основных положений изложенной идеи. Несомненно, опубликование нашей работы вызовет соответствующие отклики и замечания. Все полезные из них могут найти применение при дальнейшей экспериментальной и теоретической разработке вопроса использования льда в качестве закладочного материала.

За первые такие замечания автор приносит благодарность члену-корреспонденту Академии наук СССР М. И. Агошкову, горному инженеру М. А. Украинскому и старшим научным сотрудникам Института мерзлотоведения имени В. А. Обручева Академии наук СССР В. Ф. Жукову, В. А. Кудрявцеву и А. М. Чекотилло.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Блинский. Подземная разработка угольных и рудных месторождений в области вечной мерзлоты с закладкой льдом выработанного пространства. «Мерзлотоведение», т. I, вып. 2, изд. АН СССР, 1946.
2. А. Ф. Воропаев. Тепловая депрессия шахтной вентиляции. Институт горного дела АН СССР, 1950.
3. С. И. Гапеев. Использование естественного холода в дорожно-строительных целях. Дориздат, Москва, 1951.
4. Ледяные переправы. Гидрометиздат, Москва, 1943.
5. М. М. Крылов. Ледяные изотермические склады, изд. 2-е и 3-е АН СССР, Москва, 1951.
6. М. М. Корунов. Интенсивность образования ледяного слоя из воды, налитой на лед. Журн. «Метеорология и гидрология», 1940, № 12.
7. Справочник по горнорудному делу. Металлургиздат, Москва, 1952.
8. Л. С. Лейбензон. Нефтепромысловая механика, ч. 1. ГНТИ, 1931.
9. Г. Н. Нурок. Утепление зимних забоев для экскаваторных и гидромеханизационных работ. Журн. «Строительная промышленность», 1948, № 9.
10. В. М. Попов. Механизация закладочных работ. Металлургиздат, 1951.
11. В. В. Селиховкин. Разведка и разработка россыпных месторождений золота. ОНТИ, Москва, 1936.
12. Б. Г. Скрамтаев. Ледяной бетон. Ж. «Техника и вооружение», 1940, № 12.
13. Н. А. Цытович. Механика грунтов. Гос. изд. литературы по строительству и архитектуре, Москва—Ленинград, 1951.
14. С. Н. Шорин. Теплопередача. Гос. изд. литературы по строительству и архитектуре, Москва, 1952.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
I. Лед как заполнитель выработанного пространства . . .	11
II. Направленное изменение температурного режима горных пород в руднике	17
III. Опыт использования льда в горной промышленности для закладки выработанного пространства	38
IV. Горно-технические условия и возможные схемы использования льдозакладки	54
Заключение	75
Литература	81

*Утверждено к печати
Институтом мерзлотоведения
Академии наук СССР*

*

Редактор издательства *В. Г. Чванов*
Технический редактор *Е. В. Макуни*

*

РИСО АН СССР № 27—32 В. Сдано в набор 25/IV 1955 г.
Подписано к печати 4/VIII 1955 г. Формат бум. 84 × 108¹/₃₂.
Печ. л. 5,25 = 4,51. Уч.-изд. л. 4. Тираж 1500. Т-05272.
Издательский № 1041. Типографский заказ № 126.
Цена 2 р. 80 к.

Издательство Академии наук СССР
Москва, Б-64, Подсосенский пер., д. 21
1-я типография Издательства Академии наук СССР
Ленинград, В. О., 9 линия, д. 12

624.147

KAKIN

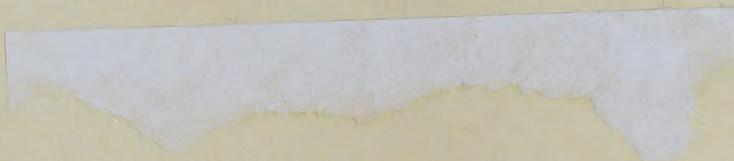
104

eriala

1955

el'
55.

PAM 624.147



Цена

University of Alberta Library



0 1620 0336 6851

7 10900
4